

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
 ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Юргинский технологический институт
 Направление подготовки: 20.03.01 Техносферная безопасность
 Профиль: Защита в чрезвычайных ситуациях
 Кафедра безопасности жизнедеятельности, экологии и физического воспитания

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчет пределов огнестойкости и разработка огнезащиты несущих стальных конструкций лабораторного комплекса ФГАОУ ВО ЮТИ ТПУ

УДК 614.841.343:691.714:378.662(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г41	Кулатаев Дастан Жумабекович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. БЖДЭиФВ	Солодский С.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭиАСУ	Нестерук Д.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. БЖДЭиФВ	Луговцова Н.Ю.			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. БЖДЭиФВ	Романенко В.О.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
БЖДЭиФВ	Солодский С.А.	к.т.н.		

Юрга – 2018 г.

Планируемые результаты обучения по основной образовательной программе
направления 20.03.01 – Техносферная безопасность

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания, достаточные для комплексной инженерной деятельности в области техносферной безопасности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области техносферной безопасности для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с организацией защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей, осуществлять надзорные и контрольные функции в сфере техносферной безопасности.
P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретацию полученных данных, на этой основе разрабатывать технику и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.
P5	Использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов, знания по охране труда и охране окружающей среды для успешного решения задач обеспечения техносферной безопасности.
P6	Обоснованно выбирать, внедрять, монтировать, эксплуатировать и обслуживать современные системы и методы защиты человека и природной среды от опасностей, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
	Универсальные компетенции
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать знания правовых, социальных, экономических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельной работе и к самостоятельному обучению в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Институт	Юргинский технологический институт
Направление	Техносферная безопасность
Профиль	Защита в чрезвычайных ситуациях
Кафедра	Безопасности жизнедеятельности, экологии и физического воспитания

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой БЖДЭиФВ
 _____ С.А. Солодский
 «__» _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
17Г41	Кулатаев Дастан Жумабекович

Тема работы:

Расчет пределов огнестойкости и разработка огнезащиты несущих стальных конструкций лабораторного комплекса ФГАОУ ВО ЮТИ ТПУ.
Утверждена приказом директора (дата, номер) 30.01.2018 г. № 9

Срок сдачи студентами выполненной работы:	09.06.2018 г.
---	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Объектом исследования – новый лабораторный комплекс ЮТИ ТПУ. 2. Строительно-архитектурная документация 3. Нормативно-правовая база по противопожарной безопасности. 4. Краткая характеристика региона.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Определение пределов огнестойкости основных несущих узлов металлических конструкций здания. 2. Разработка проекта повышения огнестойкости конструкций в лабораторном комплексе ЮТИ ТПУ. 3. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости лабораторного комплекса при пожаре.

Перечень графического материала	1. Схема огнезащиты металлических конструкций огнезащитным составом. 2. Проект производства огнезащитных работ с условиями производства работ.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	ассистент каф. ЭиАСУ Нестерук Дмитрий Николаевич
Социальная ответственность	ассистент каф. БЖДЭиФВ Луговцова Наталья Юрьевна
Нормоконтроль	ассистент каф. БЖДЭиФВ Романенко Василий Олегович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой	Солодский С.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г41	Кулатаев Д.Ж.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 страниц, 23 рисунка, 22 таблицы, 44 формул, 50 источников.

Ключевые слова: ОГНЕЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОГНЕВОЙ ПРЕДЕЛ, ПОЖАР, УСТОЙЧИВОСТЬ, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ.

Объектом выпускной квалификационной работы является лабораторный корпус ЮТИ ТПУ, повышение пределов огнестойкости несущих конструкций.

Цель работы – Поиск и разработка на основе имеющихся возможностей, способов и методов повышения огнезащиты несущих металлических конструкций здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

В процессе исследования изучены характеристики здания лабораторного корпуса, проанализирована несущая способность конструкций здания ЮТИ ТПУ, на основе полученных данных предложен ряд мер по обработке огнезащитными материалами конструкций, разработан технологический процесс нанесения огнезащитных составов, описаны правила безопасности при работе с огнезащитными материалами.

В результате исследования был предложен ряд мер для повышения несущей способности металлических конструкций лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

Степень внедрения: начальная и средняя.

Область применения: пожарная безопасность.

Экономическая эффективность и значимость высокая.

Abstract

The final qualifying work contains 108 pages, 23 figures, 22 tables, 44 formulas, 50 sources.

Key words: FIRE-RETARDANT TREATMENT, FIRE SECURITY, FIRE LIMITS, FIRE-RESISTANCE, CARRYING CAPACITY.

The object of the final qualifying work is the laboratory building of the UTI TPU, increasing the limits of fire resistance of bearing structures.

The purpose of the work is to Search and develop on the basis of available capabilities, methods and methods to improve the fire protection of the bearing metal structures of the laboratory building of the TPU UTI.

During the study, the characteristics of the building of the laboratory building were studied, the bearing capacity of the building of the UTI TPU was analyzed, on the basis of the data obtained, a number of measures for processing fire-retardant materials were proposed, the technological process of applying fire-retardant compositions was developed, the safety rules for working with fire-retardant materials were described.

As a result of the study, a number of measures were proposed to improve the bearing capacity of metal structures of the laboratory building of the UTI TPU.

Level of implementation: primary and secondary.

Application field: fire safety.

Economic efficiency and importance is high.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

ГОСТ Р 50779.21-96. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным.

ГОСТ 12.1.044-89. Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

ГОСТ Р 50779.21-96. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным.

ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.

ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний.

ГОСТ 12.3.046-91 Система стандартов безопасности труда. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования.

ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

В работе использовались следующие сокращения:

ПБ – пожарная безопасность;

ФПС – федеральная противопожарная служба;

ГПС – государственная противопожарная служба;

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Оглавление

Введение	12
1 Обзор литературы	14
1.1 Анализ статистических данных по пожарам на территории Российской Федерации	15
1.2 Основные способы повышения противопожарной безопасности производственных зданий	18
1.3 Методы повышения огнестойкости несущих металлических конструкций зданий и сооружений	23
2 Объект и методы исследования	27
2.1 Характеристика здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ	27
2.2 Правовая основа обоснования огнестойкости конструкций	28
2.3 Поведение стальных конструкций в условиях пожара и необходимость их огнезащиты	30
2.4 Методы расчета огнестойкости	32
2.5 Расчет приведенной толщины металла, необходимой толщины огнезащитного слоя покрытия, защищаемой площади и расхода огнезащитных материалов	33
2.6 Расчетные режимы локальных пожаров	34
3 Расчеты и аналитика	37
3.1 Расчет параметрической температурно-временной зависимости в здании лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ	40
3.1.1 Расчет пожарной нагрузки	41
3.2 Расчет центрально сжатых элементов, подверженных потере устойчивости	44
3.2.1 Характеристики сечения колонны	45
3.2.2 Расчетная нагрузка в условиях пожара	47
3.3 Расчет изгибаемых элементов, подверженных потере	48

устойчивости	
3.4 Расчет сжато-изогнутых и внецентренно сжатых элементов, подверженных потере устойчивости	54
3.5 Расчет растянутых элементов	58
3.6 Расчет профильного и коробчатого коэффициентов сечений колонны	60
3.6.1 Расчет профильного коэффициента сечения	60
3.6.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения	61
3.7 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений балки	61
3.7.1 Расчет профильного коэффициента сечения	61
3.7.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения	62
3.8 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений раскоса фермы	62
3.8.1 Расчет профильного коэффициента сечения	62
3.8.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения	63
3.9 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты	63
3.9.1 Для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 60	63
3.9.2 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R 45	66
3.9.3 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 150	67
3.9.4 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для элемента фермы с целью повышения класса огнестойкости до R 30	69
3.10 Выбор огнезащитных материалов и их характеристики	70

3.10.1	Техническая характеристика огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL	71
3.10.2	Входной контроль огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL	72
3.10.3	Оборудование и инструменты	73
3.10.4	Правила выполнения работ по нанесению огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL	73
3.10.5	Контроль качества огнезащитного покрытия производителем	78
3.10.6	Гарантийный срок эксплуатации огнезащитного покрытия	79
3.10.7	Проверка огнезащитного покрытия при эксплуатации здания	79
3.10.8	Техника безопасности	79
4	Социальная ответственность	82
4.1	Описание рабочего места. Анализ вредных и опасных производственных факторов	82
4.2	Анализ выявленных вредных факторов производственной среды	82
4.2.1	Сварочная пыль	84
4.2.2	Видимый свет. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения	85
4.2.3	Шум	86
4.2.4	Ультразвук	86
4.2.5	Ионизирующее излучение	87
4.2.6	Микроклимат	90

4.3	Анализ выявленных опасных факторов производственной среды	90
4.4	Охрана окружающей среды	91
4.5	Защита в чрезвычайных ситуациях	95
4.6	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	96
4.7	Заключение	96
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	96
5.1	Затраты на покрытие конструкций огнезащитной краской НЕОФЛЭЙМ 513	97
5.1.1	Расчет экономических затрат на приобретение продукции	96
5.1.2	Расчет экономических затрат на выполнение работ	97
5.2	Затраты на покрытие конструкций огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S)	98
5.2.1	Расчет экономических затрат на приобретение продукции	98
5.2.2	Расчет экономических затрат на выполнение работ	100
	Заключение	103
	Список используемых источников	104

Введение

Наша страна является одной из крупнейших промышленных держав мира и одной из немногих стран, способных производить промышленные товары практически любого типа. Тем не менее, основные виды промышленности в России – добывающая и перерабатывающая. Вне зависимости от конкретного вида промышленности, достижение целевого результата в этой сфере неотъемлемо связано с осуществлением технологических процессов, большая часть которых даже исключает вовлечение человека в производство.

Некоторые этапы, процессы или даже циклы последовательных процессов в промышленности или полностью автоматизированы, или выстроены так, что один диспетчер за панелью управления способен контролировать одновременно большое количество таких процессов.

Любой технологический процесс по определению включает в себя понятие чрезвычайной ситуации – вероятность возникновения обстановки, влекущей за собой ущерб человеку и природе, а также материальные потери.

Одной из таких обстановок является пожар, то есть неконтролируемое горение. Большое количество потенциально пожароопасных производственных объектов на территории Российской Федерации выработало свой проектный ресурс на 60-70 %, в связи с чем высока степень риска для здоровья людей и состояния окружающей среды.

Основные производства, на которых используются и перерабатываются значительные количества 225 пожароопасных веществ и соединений, существуют в таких сферах, как энергетическая, нефтехимическая и металлургическая [1].

Один из поражающих факторов техногенного пожара – термическое воздействие, которое происходит при непосредственном действии огня или тепловой радиации пламени. Термическое воздействие на человека связано с

перегревом и последующим изменением организма, приводящим к невозможности нормального функционирования или летальному исходу.

Термическое воздействие на объект экономики сопровождается обугливанием или сгоранием его элементов, в связи с чем объект выходит из строя. Кроме термического воздействия, имеет место быть токсическое.

Наиболее опасным токсичным продуктом горения является оксид углерода: он во много раз лучше вступает в реакцию с гемоглобином крови, чем кислород, что неизбежно вызывает у человека кислородное голодание. У такого человека нарушаются координация движений, дыхание и инстинкт самосохранения, затем происходят остановка дыхания и смерть.

Очень опасным является вторичный поражающий фактор возгорания – техногенный взрыв. Его опасность связана со стремительностью протекания события и выделением большого количества энергии. Детонационная волна способна полностью разрушить на части конструкции с их последующим разлетом во все стороны с большой скоростью.

Одновременное действие нескольких поражающих факторов в результате аварии, в том числе взрыва, осложняет локализацию пожара и устранение последствий. Поэтому важную роль играют мероприятия по профилактике возгораний и ограничение источника поступления ядовитых веществ в окружающую среду.

Таким образом, абсолютную важность имеют системы норм по профилактике чрезвычайных ситуаций и отдельно – по локализации и противодействию уже возникшей обстановки на каждом существующем объекте.

1 Обзор литературы

Статистика пожарного дела в России началась одновременно с программой восстановления и строительства жилых объектов в 1946 г. Стал производиться учёт пожаров, причин возгорания с подробным описанием распространения огня в помещениях в зависимости от вида и типа поврежденных конструктивных элементов зданий.

В соответствии с Федеральным законом от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», одной из основных функций системы обеспечения пожарной безопасности является учёт пожаров и их последствий (статья 3) [2].

Ведение официального статистического учёта и государственной статистической отчетности по пожарам и их последствиям возложено на ГПС МЧС России. Задача пожарной статистики заключается в сборе, обработке и анализе обоснованных и достоверных данных о состоянии и деятельности органов управления и подразделений ГПС МЧС России.

В настоящее время в России создана Единая Государственная система статистического учёта пожаров и их последствий. Государственный учёт пожаров и их последствий включает:

- статистический учёт и отчётность по пожарам и их последствиям, которую ведут органы ГПН;
- ведомственный статистический учёт, осуществляемый федеральными органами исполнительной власти, другими юридическими лицами на подведомственных объектах, и статистическую отчётность, представляемую ими в органы ГПН в установленном порядке. Государственный статистический учёт пожаров и последствий представляется в Росстат [3].

1.1 Анализ статистических данных по пожарам на территории Российской Федерации

Ежегодно в России огнем уничтожаются строения, гибнет скот. Около 50 человек получают травмы не совместимые с жизнью. Ежедневный материальный ущерб составляет около 3.5 млн. рублей.

Больше всего пожаров регистрируется в жилом секторе. Их доля от общего числа составила 70 %, а материального ущерба – 50 %. В результате неосторожного обращения с огнём происходит 45 % пожаров, которые причинили 22 % материального ущерба от общего количества. Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования стало причиной каждого пятого пожара (20 %), а доля ущерба от них составила 25 %.

Несмотря на положительную динамику изменения количества пожаров в период с 2010–2017 г. (таблица 1), на территории РФ, проблема пожарной безопасности остается актуальной [4].

Таблица 1 – Количество пожаров на территории РФ и ущерб от них

Наименование показателя	2013	2014	2015	2016	2017
Количество пожаров, ед	153207	153001	72771	139702	133074
Прямой материальный ущерб от пожаров, тыс. руб. (в целых)	13732394	18723314	6962633	14323827	14217271
Погибло при пожарах, человек	10561	10254	5044	8763	7825

Распределение пожаров по различным объектам показывает, что ежегодно (таблица 1.4) лидирующие позиции закономерно занимают жилые здания и автотранспорт. Несмотря на относительно не большое число пожаров происходящих в общественных и административных зданиях, общественная опасность таких пожаров гораздо выше [5].

Анализ причин возникновения пожаров на основании официальных статистических данных МЧС России (таблица 3) показывает, что наибольшее количество пожаров происходит по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, бытовых электроприборов и неосторожного обращения с огнем. Все причины, указанные в таблице 3, за исключением пожаров из-за неисправности и нарушения правил эксплуатации печного отопления, характерны и для общественных зданий [6].

Таблица 2 – Количество пожаров в РФ на различных объектах

Наименование показателя	2013	2014	2015	2016	2017
Жилой сектор (количество пожаров, ед)	104290	104790	50867	97060	93249
Транспортные средства (количество пожаров, ед)	23369	23093	10190	19301	17569
Общественные и административные здания (количество пожаров, ед)	3027	2923	1440	2877	2499

Таблица 3 – Количество пожаров в РФ и причины их возникновения

Наименование показателя	2013	2014	2015	2016	2017
Поджоги	16677	18766	7611	15663	14847
Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов	40341	41420	20681	41374	40581
Неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства	634	556	259	518	569

Продолжение таблицы 3

Неосторожное обращение с огнем	51954	49762	23792	41951	40001
Нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ	1110	1036	467	950	950
В т.ч. шалость детей с огнем	2589	2524	1108	2107	1845
Взрывы	133	149	49	85	64
Самовозгорание веществ и материалов	460	489	226	519	473
Неисправность и нарушение правил эксплуатации печного отопления	23744	24794	10800	23128	21183
Неустановленные	1978	1439	1178	1557	1567

Что касаясь обстановки территории Кемеровской области за 9 мес. 2017 года отмечается улучшение пожарной обстановки, в том числе в сравнении с аналогичным периодом прошлого года (далее АППГ) (рис. 1) [7].

Всего зарегистрировано 1837 пожаров (за АППГ 2016 – 2034, 2015 – 2204, 2014 – 2293). Количество погибших на пожарах – 101 чел. (за АППГ 2016 – 133, 2015 – 133, 2014 – 160). Количество травмированных на пожарах – 79 чел. (за АППГ 2016 – 84, 2015 – 86, 2013 – 88). Количество спасенных на пожарах – 286 чел. (за АППГ 2016 – 215, 2015 – 325, 2014 – 369). Материальный ущерб от пожаров – 91,251 млн. руб. (за АППГ 2016 – 107,261млн. руб., 2015 – 100,430 млн. руб., 2014 – 139,743 млн. руб.). 4744 загорание (за АППГ 2016 – 5404, 2015 – 4348, 2014 – 6252) [8].

В качестве причины сокращения основных показателей ситуации с пожарами можно обозначить эффективную предупредительную работу в частном жилом секторе, качественное информирование и обучение населения.

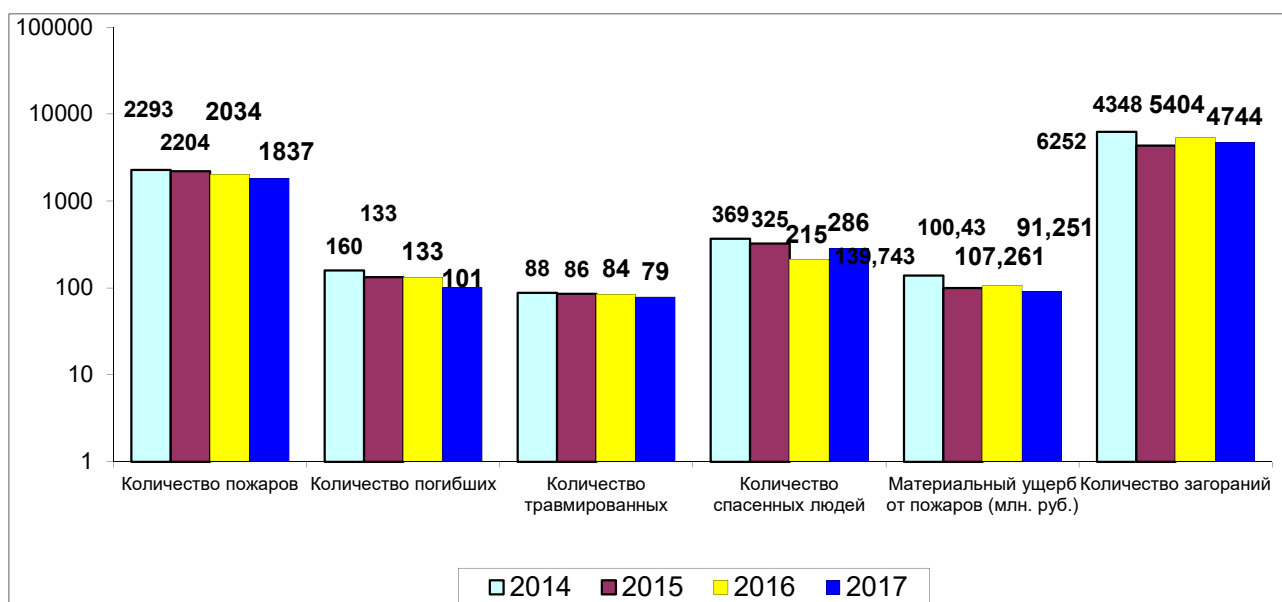


Рисунок 1 – Количество пожаров и их последствий

1.2 Основные способы повышения противопожарной безопасности производственных зданий

Одной из главных задач в области пожарной безопасности является обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей производства.

К системам пожарной безопасности относятся системы предотвращения пожара и предупреждения [9].

Систему предотвращения пожара составляет комплекс технических средств и организационных, направленных на защиту рабочего персонала от воздействия опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него.

Для того чтобы достичь наибольшую защиту рабочего персонала необходимо взять во внимание следующие пункты:

- использовать негорючие и трудногорючие материалы;
- ввести ограничение количества использования горючих веществ и их размещения;
- применять средства пожаротушения;
- применять конструкции объектов с регламентированными пределами огнестойкости и горючестью;
- производить эвакуацию людей, при возникновении или угрозы пожара;
- применять системы противодымной защиты;
- использовать средства пожарной сигнализации и средства извещения о пожаре;
- организовать пожарную охрану промышленных объектов [10].

Систему предотвращения пожара составляет комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключение возможности возникновения пожара.

Предотвращение пожара достигается путем:

- устранением образования в горючей среде (или внесения в нее) источника зажигания;
- устранением образования горючей среды;
- поддержанием температуры горючей среды ниже максимально допустимой;
- поддержание в горючей среде давления ниже максимально допустимого и другими мерами [11].

Все перечисленные выше меры, составляющие системы предупреждения пожара и предотвращения пожара, отражаются в нормах строительного проектирования и отраслевых нормативных документах в виде соответствующих нормативных требований, и положений на основе которых разрабатываются те или иные инженерно-технические решения в области противопожарной защиты при проектировании и строительстве промышленных

зданий.

Огнестойкости зданий и его элементов, а также при планировочных решениях внутри здания учитывается вероятность возникновения пожара для данного типа производства.

Пожарная опасность производственных зданий определяется пожарной опасностью технологического процесса и конструктивно-планировочными решениями здания. Исходя из пожароопасных свойств веществ и условий их применения или обработки строительные нормы и правила делят все производства и склады по взрыво- и пожароопасности на пять категорий, которые обозначают буквами:

- А и Б – взрывопожароопасные;
- В, Г и Д – пожароопасные [12].

Категории взрывопожароопасности производств указаны в нормах технологического проектирования или в специальных перечнях производств, которые составляются и утверждаются отраслевыми министерствами.

К взрывопожароопасной категории А относят: производства, связанные с применением веществ, которые при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом способные гореть и взрываться горючие газы, нижний предел воспламенения которых равен $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и менее по отношению к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров до $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ включительно, при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % от объема помещения. В литейном производстве к этой категории относят отделения нанесения лакокрасочных покрытий на изделия и др [13].

К взрывопожароопасной категории Б относят производства: связанные с применением жидкости с температурой вспышки паров $28\ldots 61\text{ }^{\circ}\text{C}$ включительно; горючих газов, нижний предел воспламенения которых более 10 % по отношению к объему воздуха; горючую пыль или волокна, нижний предел воспламенения которых равен 65 г/м^2 и менее при условии, что эти газы,

жидкости и пыли могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения. В литейном производстве к этой категории относят помещения, в которых полируются и шлифуются изделия из магниевых сплавов, а также проводится подготовка и рассев порошков магния, алюминия и их сплавов, и ряд других помещений [14].

К пожароопасной категории В относят производства, связанные с применением горючие пыли, нижний предел воспламенения которых более 65 г/м^2 ; жидкости с температурой вспышки паров выше 61°C ; вещества, способных гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или одного с другим; твердых сгораемых веществ и материалов. К таким производствам относятся плавильные отделения для получения фасонных отливок, слитков; заливочные отделения, участки термической обработки и механической обработки, склады готовой продукции из магниевых сплавов.

К пожароопасной категории Г относят производства, связанные с применением негорючих (несгораемых) веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр или пламени; твердые, жидкие или газообразные вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива. К категории Г относится большая часть подразделений литейных цехов [15].

К пожароопасной категории Д относят производства, связанные с применением несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии. В литейном производстве – это смесеприготовительные, стержневые, формовочные и ряд других отделений.

Пожарная безопасность здания в значительной мере определяется степенью его огнестойкости, которая зависит от возгораемости и огнестойкости основных конструктивных элементов здания.

Огнестойкость строительных конструкций проявляется в способности их сопротивляться воздействию огня или высокой температуры и сохранять при

этом свои эксплуатационные функции. Огнестойкость относится к числу основных характеристик конструкций и регламентируется строительными нормами и правилами. Время, по истечении которого конструкция теряет несущую или ограждающую способность, называется пределом огнестойкости и измеряется в часах от начала испытаний конструкции на огнестойкость до возникновения одного из следующих признаков: появление в конструкции сквозных отверстий или трещин, через которые проникает пламя или продукты сгорания; потеря конструкцией несущей способности, т.е. ее обрушение; повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем больше чем на 140°C , или в любой точке этой поверхности больше чем на 180°C по сравнению с температурой конструкции до испытания, или больше чем на 220°C независимо от температуры конструкции до испытания [16].

Требуемые пределы огнестойкости конструкций строительных материалов определяются степенью огнестойкости проектируемого здания. Степень огнестойкости производственных зданий промышленных предприятий устанавливается по таблицам СНиП в зависимости от назначения здания, категории взрывопожароопасности производства, площади цеха или участка, этажности здания и наличия в нем систем пожаротушения.

Важное значение в обеспечении пожарной безопасности принадлежит противопожарным преградам и разрывам. Противопожарные преграды предназначены для ограничения распространения пожара внутри здания. К ним относятся противопожарные стены, перекрытия, двери. Противопожарные стены опираются на фундамент, изготавливаются из негорючих материалов и имеют огнестойкость не менее 2,5 ч. Противопожарные стены могут возвышаться над крышей, что предотвращает распространение пожара на соседние помещения. Если здание имеет негорючие покрытия с негорючим утеплителем или негорючими крышами, то противопожарные стены не возвышаются над крышами [17].

Противопожарные двери изготавливаются из негорючих или

трудногорюемых материалов и должны иметь огнестойкость не менее 1,2 ч [18].

Противопожарные разрывы между соседними производственными зданиями зависят от их огнестойкости, а для складов – от пожарной опасности хранящихся веществ, назначения складов, их вместимости и расположения. При определении противопожарных разрывов исходят из того, что наибольшую опасность в отношении возможности воспламенения соседних зданий представляет действие лучистой энергии, в то время как контактное действие пламени и искр проявляется не во всех случаях.

Успех ликвидации пожара на производстве зависит прежде всего от быстроты оповещения о его начале. Поэтому цехи, склады и административные помещения оборудуют пожарной сигнализацией. Пожарная сигнализация может быть электрическая и автоматическая. Электрическая сигнализация состоит из извещателей, которые установлены на видных местах в производственных помещениях, а также и вне их, для того чтобы возникший вблизи пожар не мог препятствовать подходу к извещателю. В автоматической пожарной сигнализации используют датчики, реагирующие на повышение температуры до определенного уровня, на излучение открытого пламени, дым. Применение того или иного извещателя определяется характером возможного пожара, контролируемой площадью, условиями производства [19].

1.3 Методы повышения огнестойкости несущих металлических конструкций зданий и сооружений

Одним из важнейших параметров пожаробезопасности зданий, сооружений и инженерных коммуникаций является предел их огнестойкости. Данный показатель выражается периодом времени, в течение которого конструкция приобретает признаки нормируемых предельных состояний в условиях пожара, а именно:

- потеря несущей способности (обозначается R, указывается в минутах);
- нарушение целостности (E, мин.);
- потеря теплоизоляционных характеристик (I, мин.);
- основными материалами, из которых изготавливаются строительные конструкции являются сталь, бетон (железобетон) и древесина. Каждый из этих материалов в незащищенном виде имеет свои пределы огнестойкости [20].

Металлоконструкции в незащищенном виде характеризуются наименьшими показателями огнестойкости. Этот показатель зависит от показателя приведенной толщины металла: при толщине 5 мм предел огнестойкости составляет 9 минут, при толщине 15 мм – 18 минут. Нормативная документация [4,5] допускает использование конструкций из незащищенного металла в случаях, когда требования к ним по пределу огнестойкости R, E, I не превышают 15 минут. В иных случаях для повышения предела огнестойкости металла должна выполняться огнезащитная обработка [21].

Деревянные конструкции, используемые в современном строительстве, как правило, имеют заводские пропитки, снижающие их горючие свойства. Однако, пределы их огнестойкости, определяемые с учетом скорости обугливания в условиях пожара, характеризуются низкими показателями. Современные конструкции из клееной древесины имеют предел огнестойкости 30-45 минут [22].

Бетонные (железобетонные) конструкции имеют высокий предел огнестойкости, показатель которого зависит от толщины защитного слоя бетона и конструктивных особенностей элементов. Как правило, дополнительной огнезащиты требуют пустотные и ребристые плиты, тонкослойные панели, элементы, армированные внешним способом, а также конструкции, выполненные из полимербетона [23].

Эти материалы по-разному ведут себя в условиях пожара. Например, в древесине протекают процессы термического разложения, в результате которого

образуется пористый кокс. При этом снижается жесткость и прочность конструкции. Металл под воздействием высоких температур переходит в пластичное состояние. Бетон снижает свои характеристики в процессе дегидратации. Влажный бетон в условиях пожара подвергается взрывообразному разрушению.

Для повышения предела огнестойкости конструкций и доведения его до заданных параметров в строительстве используются различные огнезащитные материалы. Они позволяют блокировать поверхность защищаемой конструкции от высокотемпературного воздействия огня и сохранять ее в рабочем состоянии в течение требуемого периода времени. Огнезащитные покрытия используются для обработки:

- строительных конструкций, предел огнестойкости которых регламентируется нормативной документацией, в том числе - колонн, рам, ферм, балок, плит покрытия, междуэтажных перекрытий;
- воздуховодов и газоходов, к которым предъявляются соответствующие требования;
- кабельных разводов, проходок через ограждающие конструкции огнестойкого типа;
- емкостей для хранения нефтепродуктов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей [24].

Увеличение предела огнестойкости различных конструкций может выполняться конструктивными методами или окраской. В том числе, используются:

- штукатурка, отделка бетоном или кирпичом.

Данный метод подходит для:

- конструкций, допускающих дополнительное нагружение;
- облицовка специальными плитами, монтаж защитных экранов;
- нанесение огнезащитных составов поверхностного типа;
- пропитка конструкций из древесины;

- комбинация нескольких методов [25].

В состав огнезащитных систем могут входить: заполнители, стойкие к высоким температурам (вермикулит, керамзит, базальт и другие), неорганические вяжущие (гипс, цемент и т.д.), некоторые полимерные вяжущие и добавки, повышающие общую сопротивляемость системы воздействию огня, увеличивающие ее срок службы, прочность и другие технические характеристики. Данные материалы могут использоваться по отдельности (например, гипс, базальтовые волокна) или в комбинации друг с другом [26].

Действие покрытий вспучивающегося типа на базе органических вяжущих основано на образовании слоя пенококса. Под воздействием огня покрытие постепенно выгорает, продлевая работоспособность конструкции. Покрытия на основе минеральных связующих позволяют блокировать тепловой поток за счет выделения массы пара из содержащейся в их составе связанной воды. Данный процесс замедляет повышение температуры защищаемой конструкции.

Огнезащитные составы вспучивающегося типа на минеральном вяжущем одновременно выделяют при нагреве пар и увеличивают свою толщину, что позволяет противостоять воздействию огня более эффективно. Пористые и волокнистые огнезащитные материалы, обладающие низкой теплопроводностью, монтируются конструкционным методом и способны поглощать теплоту, не изменяя своей исходной формы. Огнезащитные материалы композиционного типа представляют собой конструкционные элементы, обладающие, при этом, эффектом терморасширения, что позволяет достичь максимального эффекта повышения огнестойкости [27].

2 Объект и методы исследования

Предметом исследования является повышение пределов огнестойкости несущих конструкций лабораторного комплекса ФГАОУ ВО ЮТИ ТПУ путем огнезащитной обработки.

Методы исследования:

- теплотехнический расчет;
- статистический расчет;
- поиск огнезащитного средства и способа огнезащиты;
- разработка инструкции по безопасному нанесению огнезащитного средства.

2.1 Характеристика здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

Лабораторный корпус ЮТИ ТПУ расположен по адресу: г. Юрга ул. Московская 17-б. Учебно-лабораторный корпус построен из сэндвич панелей с минеральным утеплителем 150 мм. Каркас здания металлический, основание здания бетонное. Мастерская имеет общую площадь, равную 540 м². В лабораторном корпусе размещено сварочное оборудование, металлургические печи.

Согласно 32 статье Федерального закона от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» помещение лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ имеет класс функциональной пожарной опасности объекта к Ф5.1 [28]. Здание имеет II степень огнестойкости.

В соответствии с требованиями Федерального закона от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» предел огнестойкости строительных конструкций для зданий и сооружений II степени огнестойкости должен быть не менее значений, указанных в таблице 4 [28].

Для повышения предела огнестойкости несущих конструкций лабораторного корпуса необходимо провести их огнезащитную обработку.

Таблица 4 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	марши и площадки лестниц
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60

2.2 Правовая основа обоснования огнестойкости конструкций

Правовой основой обоснования огнестойкости конструкций и применения в необходимых случаях огнезащиты является проект огнезащиты, выполняемый на основании действующих нормативных правовых актов, а именно:

- федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Статья 17. Требования к обеспечению пожарной безопасности здания или сооружения: «Для обеспечения пожарной безопасности здания или сооружения в проектной документации должны быть обоснованы принимаемые значения характеристик огнестойкости и пожарной опасности элементов строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения» [29];

- федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» Статья 28. Цель классификации. Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков, классы их функциональной и конструктивной пожарной опасности

указываются в проектной документации на объекты капитального строительства и реконструкции [28];

- статья 52. Способы защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара. Защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий их воздействия обеспечиваются одним или несколькими из следующих способов:

- применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности зданий и сооружений, а также с ограничением пожарной опасности поверхностных слоев (отделок, облицовок и средств огнезащиты) строительных конструкций на путях эвакуации;

- применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) и строительных материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций;

- статья 58. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. Огнестойкость и класс пожарной опасности строительных конструкций должны обеспечиваться за счет их конструктивных решений, применения соответствующих строительных материалов, а также использования средств огнезащиты;

- градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. В состав проектной документации объектов капитального строительства, за исключением проектной документации линейных объектов, включаются следующие разделы [30]:

- перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности (п.9, ч.12, ст.48);

- положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (утв. постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87). Раздел 4 «Конструктивные и объемно-планировочные

решения» должен содержать обоснование проектных решений и мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность. Раздел 9 «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности» должен содержать описание и обоснование принятых конструктивных и объемно-планировочных решений, степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности строительных конструкций [31].

2.3 Поведение стальных конструкций в условиях пожара и необходимость их огнезащиты

Сталь является негорючим материалом, но, как и все материалы, используемые в строительстве, не может в течение длительного времени выдерживать воздействие высокой температуры, возникающей внутри здания при пожаре. При температуре до 250 °С прочность мягкой малоуглеродистой стали увеличивается, затем этот предел постепенно снижается, и при 400 °С сталь принимает первоначальное значение прочности. Критическая температура, которая характеризует потерю несущей способности стальных конструкций при нормативной нагрузке, принимается равной 500 °С [32].

Незащищенные стальные конструкции начинают терять несущую способность и деформироваться, как правило, через 10–15 минут после начала воздействия на них теплового импульса. Создание теплоизолирующих экранов на поверхности металлоконструкций позволяет замедлить прогрев металла и сохранить его прочностные характеристики в течение заданного времени, т.е. до наступления критической температуры, при которой начинается потеря несущей способности.

Огнезащита стальных конструкций может быть выполнена различными способами:

- обеспечение защитного слоя путем обетонирования, обкладки кирпичом, оштукатуривания;

- нанесение огнезащитных вспучивающихся покрытий (красок, мастик);
- устройство теплоизолирующих экранов (облицовка из плитных и листовых материалов) и т.д. [33].

Нагрев металлических конструкций в условиях пожара зависит от множества факторов, среди которых основными являются интенсивность огня и способы теплозащиты металлоконструкций [34].

Зависимость предела огнестойкости металлоконструкций от толщины металла указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Собственные пределы огнестойкости металлоконструкций в зависимости от приведенной толщины металла

Приведенная толщина металла, мм	Предел огнестойкости, мин.
3	7
5	9
10	15
15	18
20	21
30	27
40	34
60	43

Предельное состояние по огнестойкости строительных конструкций характеризуется [35]:

- потерей несущей способности в результате обрушения или достижения предельных деформаций (R);
- потерей целостности в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя (E);
- потерей теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции более чем на 140 °С (I).

Значение требуемых пределов огнестойкости основных строительных конструкций, в том числе металлических, составляет от 0,25 до 2,0 часов в

зависимости от степени огнестойкости здания и типа конструкций. Однако, большинство незащищенных стальных конструкций может удовлетворять лишь минимальным требованиям по пределу огнестойкости до 0,25 часа. Это позволяет сделать вывод о том, что область применения металлических конструкций ограничена по огнестойкости, так как не выполняется условие безопасности:

$$P_{ф.} \geq P_{тр.},$$

где $P_{ф.}$ – фактический предел огнестойкости конструкций;

$P_{тр.}$ – требуемый (нормативный) предел огнестойкости.

Это условие безопасности является основным критерием обоснования необходимости огнезащиты металлических конструкций, т.е. если $P_{ф.} \geq P_{тр.}$, то огнезащита не требуется, при $P_{ф.} < P_{тр.}$, – огнезащита необходима.

2.4 Методы расчета огнестойкости

Варианты методов расчета огнестойкости схематически показаны на рисунке 2.

Методы расчета подразделяются на:

- номинальные – общепринятые зависимости, к которым относятся:
- стандартный температурный режим;
- температурный режим наружного пожара;
- температурный режим пожара углеводородов;
- параметрические – зависимости, определенные на базе моделей пожара и специальных физических параметров, определяющих состояние среды в помещении при пожаре [36].

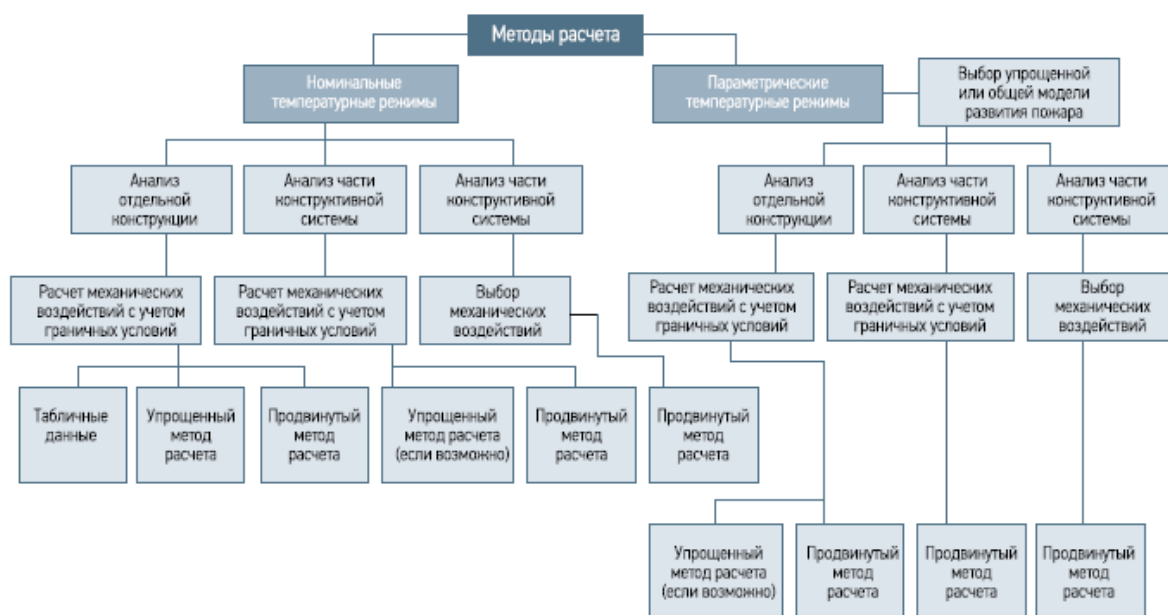


Рисунок 2 – Методов расчета огнестойкости

В зависимости от деления расчетной схемы на части:

- анализ отдельной конструкции;
- анализ части конструктивной схемы;
- анализ всей конструктивной схемы.

В зависимости от этого могут применяться:

- расчет огнестойкости по табличным данным;
- упрощенные методы расчета;
- уточненные (продвинутые) методы расчета;
- испытания [37].

2.5 Расчет приведенной толщины металла, необходимой толщины огнезащитного слоя покрытия, защищаемой площади и расхода огнезащитных материалов

Собственный предел огнестойкости металлоконструкции зависит от приведенной толщины металла.

Приведенная толщина металла ($\delta_{пр.}$, мм) определяется по формуле:

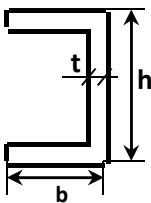
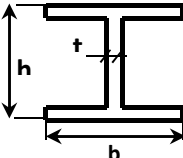
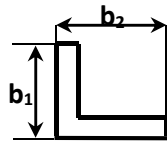
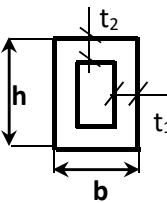
$$\delta_{np.} = F / P, \quad (1)$$

где F – площадь сечения (мм^2), значение которой для проката фасонной стали берется по сортаменту (ГОСТу), а для составных (сварных) сечений определяется расчетом как сумма площадей составляющих элементов конструкции;

P – периметр обогреваемой поверхности конструкции (мм) [38].

Формулы расчета приведенной толщины металла конструкций приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Формулы расчета приведенной толщины металла конструкций

№ элемента	Схема сечения элемента	Формула
1		$\delta_{np} = \frac{F}{2(h + 2b - t)}$
2		$\delta_{np} = \frac{F}{2(h + 2b - t)}$
3		$\delta_{np} = \frac{F}{2b_1 + 2b_2}$
4		$\delta_{np} = \frac{h \cdot t_1 - 2t_1 \cdot t_2 + b \cdot t_2}{h + b}$

2.6 Расчетные режимы локальных пожаров

Оценивание огневых воздействий локальных пожаров не имеет широкого

применения на практике, однако при необходимости допускается проведение расчетов различных сценариев локальных пожаров, при этом учитывается два основных параметра: высота пламени и высота помещения [39].

При выполнении расчетов рассматриваются два основных сценария локальных пожаров: когда высота пламени (L_f) меньше высоты помещения (H) и когда высота пламени больше высоты помещения (рисунок 3, 4).

Данные модели локальных пожаров чаще всего используются для расчета тепловых воздействий (в условиях теплового потока в результате воздействия радиационной части и конвективной части) на горизонтальные элементы стальных конструкций. На настоящий момент нет ни одного доступного метода для расчета воздействия на вертикальные стальные элементы, при воздействии на них локализованного пожара.

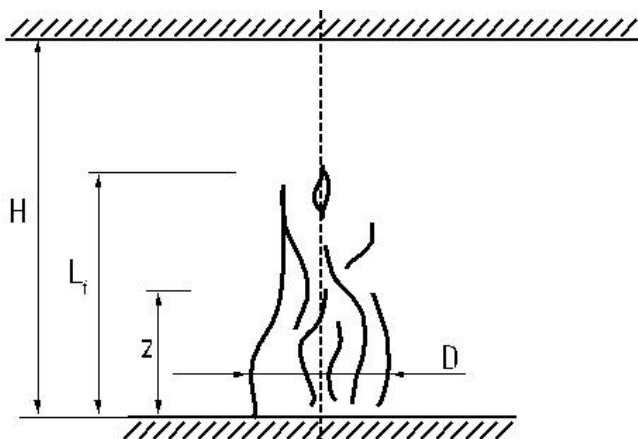


Рисунок 3 – Условие $H > L_f$

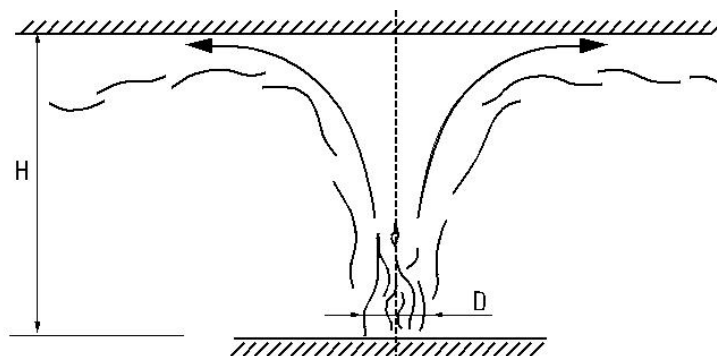


Рисунок 4 – Условие $H \leq L_f$

Подходы к расчетным режимам локального пожара ограничены случаями, когда диаметр пожара D составляет менее 10 м, а скорость теплового потока Q меньше 50 МВт.

Кривые зависимости некоторых вариантов параметрических режимов развития пожара представлены на рисунке 5.

В следующей главе будет произведен расчет пределов огнестойкости несущих конструкций лабораторного комплекса ЮТИ ТПУ и подбор способа огнезащитной обработки.

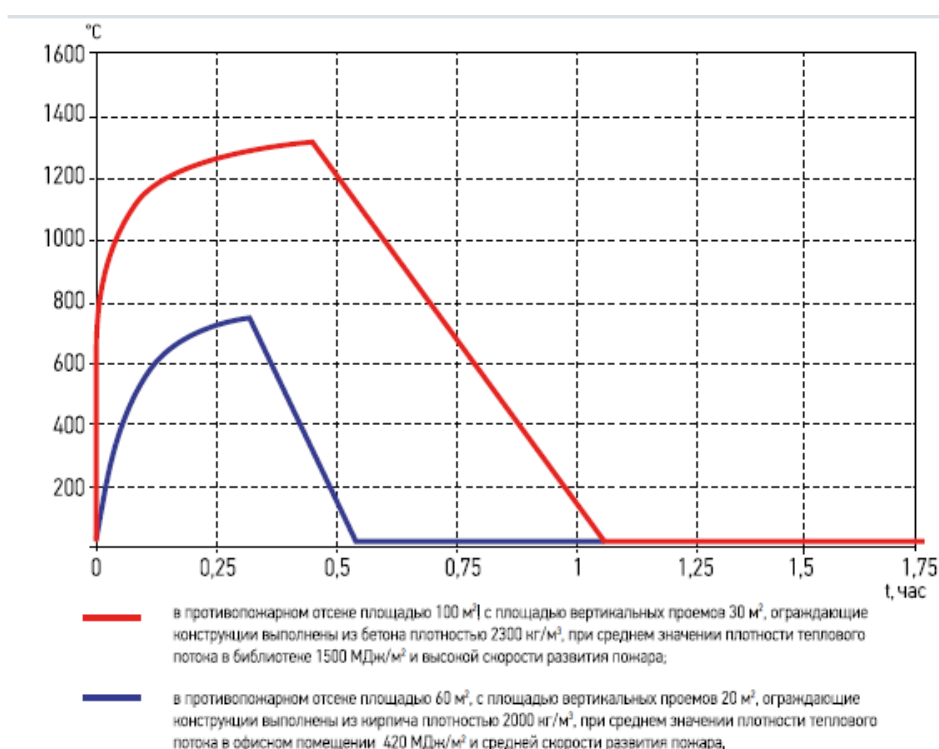


Рисунок 5 – Параметрические температурно-временные зависимости развития пожаров

3 Расчеты и аналитика

Предел огнестойкости конструкции наступает при:

- потери устойчивости;
- потери прочности.

Тому и другому случаю соответствует определенная температура нагрева конструкции, называемая критической ($t_{кр}$), которая, в свою очередь, зависит:

- схемы нагружения;
- от вида конструкции (профиля сечения);
- величины рабочей (нормативной) нагрузки;
- размеров конструкции;
- схемы опирания;
- условий обогрева конструкции (с одной или нескольких сторон);
- марки металла [39].

Расчеты пределов огнестойкости конструкций связаны с решением статической и теплотехнической задач.

При решении статической задачи определяется величина напряжений от нормативной нагрузки в наиболее нагруженном сечении конструкции. При равенстве этих напряжений нормативному сопротивлению металла считается, что сечение конструкции утратит способность сопротивляться действию нормативной нагрузки. Поскольку нормативное сопротивление металла снижается при увеличении температуры, то это равенство будет определять критическую температуру конструкции, т.е. температуру до которой можно нагреть конструкцию при данной величине напряжений в сечении конструкции [40].

При решении теплотехнической задачи определяется время прогрева конструкции до критической температуры. При этом принимается, что конструкции обогреваются в условиях стандартного температурного режима

пожара при граничных условиях 3-го рода (с учетом теплообмена конструкции с окружающей средой). Расчет огнестойкости конструкций целесообразно начинать с прочностной части, т.е. с определения критических напряжений и, следовательно, критической температуры конструкции. Далее производят теплотехнический расчет, в результате чего находят время прогрева конструкции до критической температуры, т.е. ее предел огнестойкости [41].

Основы современного расчета предела огнестойкости стальных конструкций представлены в книге «Огнестойкость строительных конструкций» И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов Москва, 2001 г. Спецтехника), где расчету предела огнестойкости стальных конструкции посвящен раздел 3 на стр. 105-179 [42].

Метод расчета пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными покрытиями изложены в Методических рекомендациях ВНИИПО «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Расчетно-экспериментальный метод определения предела огнестойкости несущих металлических конструкций с тонкослойными огнезащитными покрытиями» [43].

Методы ведения расчетов пожарной нагрузки, потери устойчивости элементов, сечения и др. указаны в Еврокоде 3 Проектирование стальных конструкций [44].

Результатом расчета является вывод о фактическом пределе огнестойкости конструкции, в том числе с учетом решений по ее огнезащиты.

В работе будет использован метод расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре. Алгоритм расчета показан на рисунке 2.

Данный метод следует применять при возможности потери устойчивости элемента. Для случаев, когда не учитывается критерий деформаций и исключается потеря устойчивости, следует использовать более простой метод расчета критической температуры. Для сечений Класа 4 алгоритм значительно упрощается, поскольку допускается без расчета принимать $\Theta_{a,cr} = 350^{\circ}\text{C}$ [45].

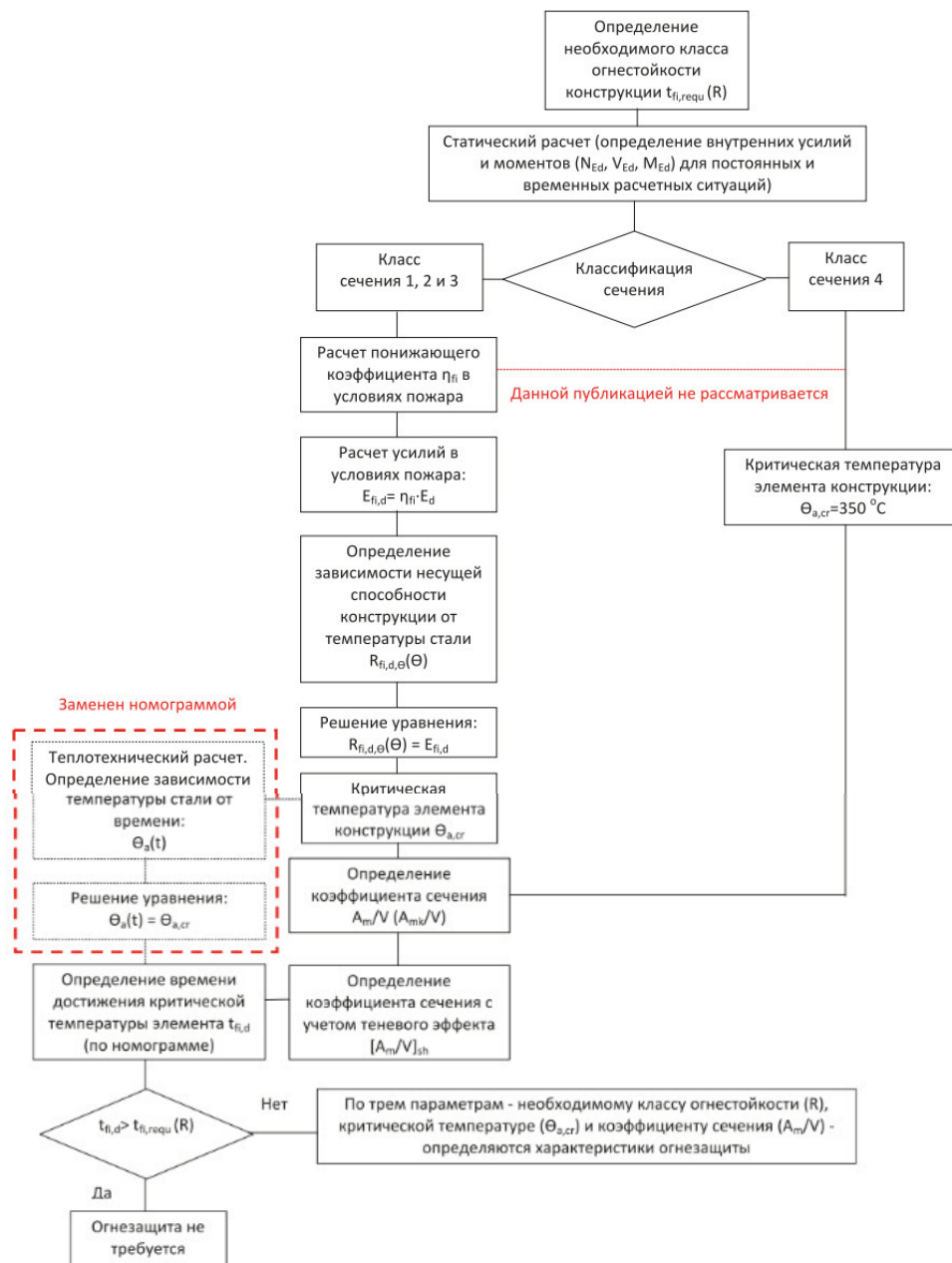


Рисунок 2 – Алгоритм расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре

3.1 Расчет параметрической температурно-временной зависимости в здании лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

Здание лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ имеет общую площадь равную 660 м^2 . Длина здания – $40,32 \text{ м}$, ширина – $18,27 \text{ м}$, высота – $7,3 \text{ м}$.

Средняя высота окон на всех стенах, $h_{eq} = 1,5 \text{ м}$.

Общая площадь вертикальных проемов – $14,7 \text{ м}^2$.

Каркас лабораторного корпуса металлический, основание железобетонное.

На рисунке 6 схематично показаны геометрические параметры здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

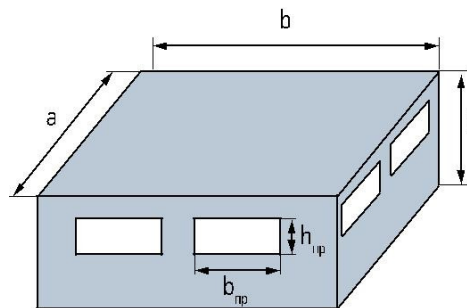


Рисунок 6 – Геометрически параметры здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

a – длина; b – ширина; h – высота; $h_{пр}$ – высота окон;

$b_{пр}$ длина вертикальных проемов

Площадь вертикальных проемов A_v рассчитывается по формуле:

$$A_v = n \times h_{пр} \times b_{пр} \quad (2)$$

где n – количество проемов.

$$A_v = 7 \times 1,5 \times 1,4 = 14,7 \text{ м}^2.$$

Общая площадь ограждающих конструкций A_t рассчитывается по формуле:

$$A_t = 2ab + 2ah + 2bh \quad (3)$$

$$A_t = 2 \times 40,32 \times 18,27 + 2 \times 40,32 \times 7,3 + 2 \times 18,27 \times 7,3 = 2\,328,7 \text{ м}^2.$$

Коэффициент учета проемов O рассчитывается по формуле:

$$O = A_v \times (h_{eq})^{0,5} / A_t \quad (4)$$

$$O = 14,7 \times (1,5)^{0,5} / 2\,328,7 = 0,0077 \text{ м}^{0,5}.$$

К характеристикам ограждающих конструкций помещения относится:

плотность материала ограждающих конструкций (сталь),

$$\rho = 2300 \text{ кг/м}^3;$$

- удельная теплоемкость поверхности ограждающих конструкций,

$$c = 1000 \text{ Дж/кгК};$$

- коэффициент теплопроводности ограждающих конструкций,

$$\lambda = 1,6 \text{ Вт/мК}.$$

3.1.1 Расчет пожарной нагрузки

Под пожарной нагрузкой объекта понимают массу всех горючих и трудногорючих материалов, приходящихся на 1 м² площади пола помещения или площади, занимаемой этими материалами [46].

Расчетная удельная пожарная нагрузка, приведенная к суммарной площади поверхности ограждающих конструкций A_t , определяется по формуле:

$$q_{t,d} = q_{f,d} \times A_f / A_t, \quad (5)$$

где $q_{f,d}$ – расчетная удельная пожарная нагрузка, приведенная к суммарной площади пола A_f (МДж/м²).

Расчетная удельная пожарная нагрузка определяется по формуле:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_{qn} \quad (6)$$

где m – коэффициент полноты сгорания ($m = 0,8$);

δ_{q1} – коэффициент учета риска возникновения пожара, зависящий от размеров лабораторного корпуса;

δ_{q2} – коэффициент учета риска возникновения пожара в зависимости от назначения помещения;

δ_{qn} – коэффициент, учитывающий наличие специальных мер (противопожарных мероприятий) для тушения пожара. Для обычных решений

противопожарных мероприятий коэффициент принимается 1,0. Если противопожарные мероприятия не предусмотрены, коэффициент принимается 1,5;

$q_{f,k}$ – нормативная пожарная нагрузка, приведенная к площади этажа (МДж/м²).

$$q_{f,d} = 660 \times 0,8 \times 1,5 \times 1 \times 1 = 792 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_{t,d} = 792 \times 660 / 2328,7 = 224,5 \text{ МДж/м}^2.$$

Температурный режим параметрического пожара в фазе нагрева определяется по формуле:

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}), \quad (7)$$

где $t^* = t \times \Gamma$;

$$\Gamma = (O / b)^2 / (0,04 / 1160)^2;$$

$$b = (\rho c \lambda)^{0,5};$$

t – время, час.

$$b = (2300 \times 1000 \times 1,6)^{0,5} = 1918,333 \text{ Дж/м}^2\text{с}^{0,5} \text{ К};$$

$$\Gamma = (0,077 / 1918,333)^2 / (0,04 / 1160)^2 = 0,13;$$

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,1512t} - 0,204e^{-1,2849t} - 0,472e^{-14,36t}).$$

Максимальная температура в фазе нагрева наступает при $t_{\max} = t^*_{\max}$, определяется по формуле:

$$\Theta_{\max} = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*_{\max}} - 0,204e^{-1,7t^*_{\max}} - 0,472e^{-19t^*_{\max}}), \quad (8)$$

где $t^*_{\max} = t_{\max} \times \Gamma$;

$$t_{\max} = 0,0002 \times q_{t,d} / O \text{ или } t_{\max} = t_{\lim}.$$

Величина t_{\max} принимается большей из двух значений: либо вычисленное по формуле, либо значение, соответствующее t_{\lim} .

Время достижения максимальной температуры пожара t_{\lim} для среднего развития пожара принимается 20 минут (0,333 часа).

$$t_{\lim} = 0,333 \text{ часа};$$

$$t_{\max} = 0,0002 \times 224,5 / 0,0077 = 58,3 \text{ часа}.$$

Таким образом, в качестве t_{\max} принимается значение, равное 58,3 часа.

$$t_{\max}^* = 58,3 \times 0,7558 = 44 \text{ часа};$$

$$\Theta_{\max} = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2 \times 0,43} - 0,204e^{-1,7 \times 0,43} - 0,472e^{-19 \times 0,43}) = 820,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температурный режим параметрического пожара в фазе охлаждения (для $t_{\max}^* \leq 0,5$) определяется по формуле:

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 625(t^* - t_{\max}^* \times X), \quad (9)$$

где $t^* = t \times \Gamma$;

$$t_{\max}^* = t_{\max} \times \Gamma;$$

$X=1$ при $t_{\max} > t_{\lim}$.

Таким образом, температурный режим в стадии охлаждения:

$$\Theta_g = 820,8 - 625 (t^* - 0,43 \times 1);$$

$$\Theta_g = 820,8 - 625 (0,7558 \times t - 0,43) = 1089,55 - 472,38t.$$

Температурный режим (таблица 6, рисунок 7) параметрического пожара в соответствии с условиями задачи будет определяться зависимостями температуры в здании лабораторного корпуса Θ_g ($^{\circ}\text{C}$) в момент времени t (часов):

- в фазе нагрева (фаза нагрева продлится 34 минуты, при этом температура достигнет $820 \text{ }^{\circ}\text{C}$):

$$\theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,1512t} - 0,204e^{-1,2849t} - 0,472e^{-14,36t});$$

- в фазе охлаждения (фаза охлаждения начнется с 35-й минуты и будет продолжаться до полного остывания):

$$\theta_g = 1089,55 - 472,38t.$$

Таблица 6 – Зависимость температуры в здании лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ θ_g в момент времени t при заданных исходных данных

t, мин	θ_g , $^{\circ}\text{C}$	t, мин	θ_g , $^{\circ}\text{C}$	t, мин	θ_g , $^{\circ}\text{C}$
0	20	45	735,3	105	262,9
15	718,3	60	617,2	120	144,8
30	804,3	75	499,1	135	26,7
Продолжение таблицы 6					
34	820,8	90	381,0	150	20,0

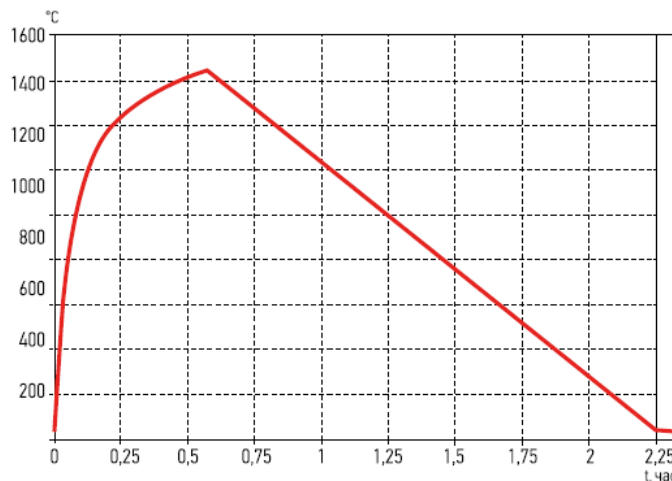


Рисунок 7 – Параметрическая температурно-временная зависимость развития пожара в здании лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

3.2 Расчет центрально сжатых элементов, подверженных потере устойчивости

Рассматриваемый каркас представляет собой балочную клетку, которая располагается внутри объема существующего здания.

Подобные конструкции используют в промышленном строительстве для размещения технологического оборудования при организации производственных процессов в нескольких уровнях, а также в гражданском строительстве с целью организации антресольных этажей [47].

Колонны и главные балки в каркасе приняты из сварных профилей, составленных из листов. Второстепенные балки приняты из прокатных двутавров, а элементы связей – из труб. В работе рассмотрена центрально сжатая колонна, которая высотой 7,3 м. На рисунке 8 показана схема размещения балок.

Суммарное расчетное значение нагрузки на колонну составляет $N_{ed} = 307,7$ кН.

На рисунке 9 показана нагрузка, действующая на колонну.

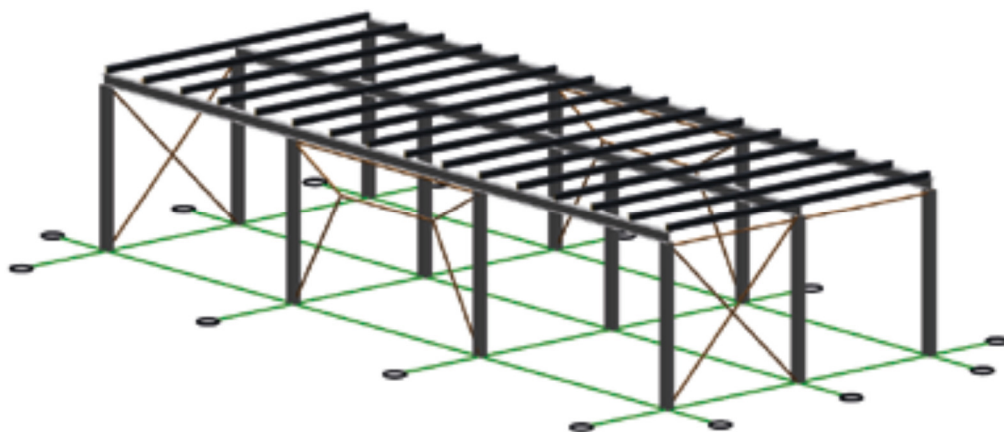


Рисунок 8 – Схема размещения балок на каркасе здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

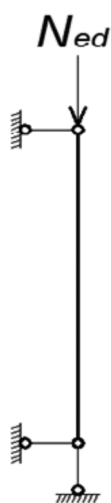


Рисунок 9 – Нагрузка, действующая на колонну

3.2.1 Характеристики сечения колонны

Колонна принята из стали S235. При предварительной максимальной толщине элементов сечения колонны $t \leq 40$ мм предел текучести равен $f_y = 235$ Н/мм². На рисунке 10 показана схема сечения колонны.

Характеристики сечения принятой колонны указаны в таблице 7.

Данное сечение колонны при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му классу.

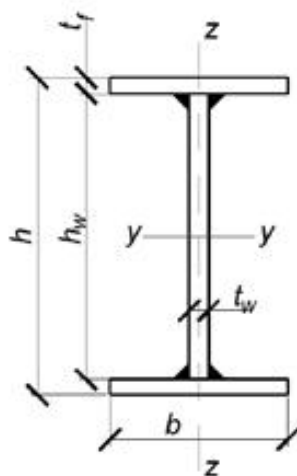


Рисунок 10 – Сечения колонны

Таблица 7 – Характеристики сечения колонны

Высота поперечного сечения	$h = 300 \text{ мм}$
Ширина поперечного сечения	$b = 200 \text{ мм}$
Высота стенки	$h_w = 276 \text{ мм}$
Толщина стенки	$t_w = 10 \text{ мм}$
Толщина полки	$t_f = 12 \text{ мм}$
Площадь поперечного сечения колонны	$A = 75,6 \text{ см}^2$

Расчетная несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба $N_{b,fi,t,Rd}$ колонны при равномерном распределении температуры θ_a в момент времени t рассчитывается по формуле:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_y \theta f_y}{\gamma_{M,fi}} \quad (10)$$

где χ_{fi} – понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости в условиях пожара;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t .

3.2.2 Расчетная нагрузка в условиях пожара

Расчетная нагрузка в условиях пожара рассчитывается по формуле:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \times E_d, \quad (11)$$

где E_d – расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий в рассматриваемом случае $E_d = N_{Ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара.

Понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара рассчитывается по формуле:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}}, \quad (12)$$

где $Q_{k,l}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,1}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий (принимается равным $\psi = 2,1$).

$$Q_{k,l} = 4,9 \times 4,5 \times 7,5 = 165,375 \text{ кН};$$

$$G_k = 1,02 \times 4,5 \times 7,5 \text{ (вес настила)} + (10 \times 0,81225 \div 2 + 2 \times 7,67 \div 2) \text{ (вес балок перекрытия)} = 46,16 \text{ кН};$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\eta_{fi} = \frac{46,16 + 0,8 \times 165,375}{1,35 \times 46,16 + 1,5 \times 165,375} = 0,575 \quad (13)$$

Расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = N_{fi,d} = 0,575 \times 307,7 = 176,9 \text{ кН.}$$

Согласно таблице 8 относительная гибкость и коэффициент χ_{fi} соответственно при температурах 400, 500, 600, 700 и 800°C принимают следующие значения:

Таблица 8 – Относительная гибкость и понижающий коэффициент при температурах 400, 500, 600, 700 и 800°C

Температура $\Theta_a, ^\circ\text{C}$	k_y, Θ	k_E, Θ	λ, Θ	φ, Θ	χ_{fi}
400	1,0	0,7	1,28	1,73	0,3444
500	0,78	0,6	1,22	1,64	0,3652
600	0,47	0,31	1,32	1,796	0,3315
700	0,23	0,13	1,42	1,98	0,299
800	0,11	0,09	1,18	1,58	0,3791

3.3 Расчет изгибаемых элементов, подверженных потере устойчивости

Принято, что балка шарнирно закреплена на колоннах, и ее верхний пояс не является раскрепленным из плоскости, так как второстепенные балки опираются поэтажно. Пролет главной балки составляет $L = 7,5$ м, а шаг – 4,5 м.

Суммарная погонная расчетная нагрузка на главную балку составляет $F_d = 41,33$ кН/м. На рисунке 11 показана нагрузка на главную балку.

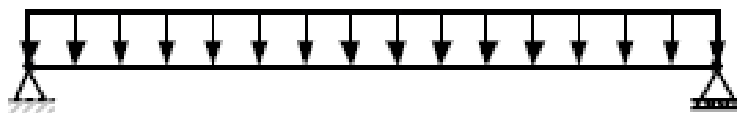


Рисунок 11 – Нагрузка на главную балку

Максимальный изгибающий момент в главной балке при равномерно распределенной нагрузке находится в середине пролета и рассчитывается по формуле:

$$M_{y,ED} = \frac{F_d L^2}{8} = \frac{41,33 \times 7,5^2}{8} = 290,6 \text{ кНм.} \quad (14)$$

Принимаем балку из стали S 235. При предварительной максимальной толщине сечения элемента $t \leq 40$ мм предел текучести для выбранной стали равен $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$.

Принимаем сварную балку, составленную из листов следующих размеров:

- высота поперечного сечения $h = 400 \text{ мм}$;
- ширина поперечного сечения $b = 300 \text{ мм}$;
- высота стенки $h_w = 368 \text{ мм}$;
- толщина стенки $t_w = 10 \text{ мм}$;
- толщина полки $t_f = 16 \text{ мм}$;
- площадь поперечного сечения балки $A = 132,8 \text{ см}^2$.

Расчетная нагрузка в условиях пожара рассчитывается по формуле 11.

Понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара рассчитывается по формуле 12.

Таким образом:

$$Q_{k,1} = 4,9 \text{ кН/м}^2;$$

$$G_k = 1,02 \text{ (вес покрытия)} + 0,483 \text{ (вес балок перекрытия)} = 1,503 \text{ кН/м}^2;$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент рассчитывается по формуле 13:

$$\eta_{fi} = \frac{1,053 + 0,8 \times 4,9}{1,35 \times 1,053 + 1,5 \times 4,9} = 0,57$$

Расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = N_{fi,d} = 0,57 \times 290,6 = 165,64 \text{ кН.}$$

Несмотря на то, что сечение балки при нормальной температуре относится к 1-му Классу, в условиях повышенной температуры оно может переходить в другие классы, поскольку

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,85$$

Свес полки рассчитывается по формуле:

$$c = \frac{b - t_w - 2k_f}{2} \quad (15)$$

где k_f – минимальное значение катета сварного шва балки.

$$c = \frac{300 - 10 - 2 \times 6}{2} = 139 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{139}{16} = 8,69$$

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений рассчитывается по формуле:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \times 0,85 = 7,65 \quad (16)$$

Проверяем условие: $8,69 > 7,65$.

Условие выполняется, таким образом, полка поперечного сечения балки не относится к 1-му Классу.

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 2-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \quad \varepsilon = 10 \times 0,85 = 8,5$$

Следовательно, полка поперечного сечения балки не относится к 2-му Классу.

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 3-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t_f} \leq 14 \quad \varepsilon = 14 \times 0,85 = 11,9$$

Проверяем условие: $8,69 < 11,9$.

Таким образом, полка поперечного сечения балки относится к 3-му Классу.

Для стенки:

При чистом изгибе:

$$c = h - 2 \times t_f - 2 \times k_f = 400 - 2 \times 16 - 2 \times 6 = 356 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{356}{10} = 35,6$$

$$\frac{c}{t} \leq 72 \varepsilon = 72 \times 0,85 = 61,2$$

Проверяем условие: $35,6 < 61,2$.

Следовательно, стенка при чистом изгибе относится к 1-му Классу.

Таким образом, при воздействии повышенной температуры сечение балки относится к 3-му Классу.

Несущая способность поперечного сечения балки на изгиб при равномерно распределенной температуре φ_a определяется по формуле:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{Rd} \frac{\gamma_{M,0}/\gamma_{M,fi}}{k_1 k_2} \quad (17)$$

где k_1 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по ширине поперечного сечения; $k_1 = 1,0$ (для незащищенных балок, подвергающихся огневому воздействию с трех сторон и имеющих композитную или бетонную плиту с четвертой стороны, данный коэффициент $k_1 = 0,7$);

k_2 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по длине балки;

$$k_2 = 1,0;$$

M_{Rd} – соответствующая несущая способность сечения брутто по прочности при нормальной температуре, определяемая следующим образом:

$M_{Rd} = M_{el,Rd}$ для сечений Класа 3 в упругой стадии соответственно без учета или с учетом влияния перерезывающего усилия (при $V_{Ed} \geq 0,5V_{Rd}$) рассчитывается по формуле:

$$M_{Rd} = \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{MO}} \quad (18)$$

$$M_{RD} = \frac{1972,622 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 463,67 \text{ кНм}$$

Для определения критической температуры $q_{cr}, ^\circ\text{C}$, при которой расчетное значение несущей способности $M_{fi,q,Rd}$ падает ниже уровня действующих усилий (в данном случае это $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64 \text{ кНм}$). В таблице 9 указаны значения коэффициента снижения предела текучести при достижении стальной температуры и значение несущей способности.

Таблица 9 – Значения коэффициента снижения предела текучести и значение несущей способности при определенной температуре

Температура $\Theta_a, ^\circ\text{C}$	k_y, Θ	$M_{fi,q,Rd}$
400	1,0	662,39
500	0,78	516,66
600	0,47	311,31
700	0,23	152,34
800	0,11	72,86

Методом интерполяции определяем критическую температуру для балки для расчетного усилия при пожаре.

$$E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64 \text{ кНм:}$$

$$Q_{cr} = 600 + \frac{165,64 - 311,11}{152,34 - 311,11} \times \frac{700 - 600}{1} = 691,63 ^\circ\text{C}$$

Расчетная несущая способность по потере устойчивости плоской формы изгиба балки в момент времени t определяется по формуле:

$$M_{fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}, \quad (19)$$

где W_y – соответствующий момент сопротивления сечения,
 $= W_{el,y} = 1972,622 \text{ см}^3$ для сечения балки (3 Класс сечения);

$\chi_{LT,fi}$ – понижающий коэффициент для потери устойчивости плоской формы изгиба в условиях пожара;

Значение коэффициента устойчивости $\chi_{LT,fi}$ определяется в соответствии со следующей зависимостью:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\varphi_{LT\theta} + \sqrt{(\varphi_{LT\theta})^2 - (\lambda_{LT\theta})^2}} \quad (20)$$

$$\varphi_{LT\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \lambda_{LT\theta} + (\lambda_{LT\theta})^2] \quad (21)$$

$$\lambda_{LT\theta} = \lambda_{LT} \left[\frac{k_{y\theta}}{k_{E\theta}} \right] \quad (22)$$

$$\lambda_{LT\theta} = 0,93$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,65$$

Таким образом, определяем относительную гибкость и коэффициент χ_{fi} соответственно при температурах 400, 500, 600, 700 и 800°C. Значения показаны в таблице 10.

Таблица 10 – Относительная гибкость при установленных температурах

Температура стали $\Theta_a, ^\circ\text{C}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\lambda_{LT\theta}$	φ_θ	χ_{fi}
400	1,0	0,7	1,11	4,48	0,41
500	0,78	0,6	1,06	1,41	0,43
600	0,47	0,31	1,15	1,53	0,39
700	0,23	0,13	1,23	1,67	0,36
800	0,11	0,09	1,03	1,36	0,44

Критическая температура $\theta_{cr}, ^\circ\text{C}$, при которой расчетное значение несущей способности $M_{b,fi,t,Rd}$ падает ниже уровня действующих усилий (в данном случае это $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64 \text{ кНм}$) определяется по формуле:

$$M_{bfi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \quad (23)$$

где $\gamma_{M,fi}$ – коэффициент надежности для материала во время пожара, $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

Таблица 11 – Значения несущей способности при определенной температуре

Температура $\Theta_a, ^\circ\text{C}$	χ_{fi}	$M_{fi,q,Rd}$
400	0,41	188,4
500	0,43	155,1
600	0,39	85,8
700	0,36	38,3
800	0,44	22,6

Методом интерполяции определяем критическую температуру для балки при расчетном усилии в условиях пожара $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64$ кНм:

$$\theta_{cr} = 400 + \frac{165,64 - 188,4}{155,1 - 188,4} \times \frac{500 - 400}{1} = 468,8 ^\circ\text{C}$$

Принимаем худшее из двух значений. Следовательно, критическая температура для балки равна $\theta_{cr} = 468,8^\circ\text{C}$.

3.4 Расчет сжато-изогнутых и внецентренно сжатых элементов, подверженных потере устойчивости

Колонна рамного поперечника здания с шарнирным опиранием сверху ферм покрытия. Шаг рам из плоскости составляет 6 м. Колонна в составе рамы здания работает как сжато-изогнутая, поскольку воспринимает ветровую нагрузку, приводящую к появлению изгибающих моментов. Принято также, что сечение работает только в пределах упругой стадии.

Рассматриваемое сечение колонны имеет главную ось у-у и второстепенную – z-z. При геометрической высоте колонны $l_{ef,y} = 700$ см ее расчетная длина в плоскости рамы будет составлять:

$$L_{cr,y} = \mu \times l_{ef,y} = 700 \times 2 = 1400 \text{ см.}$$

Здесь коэффициент расчетной длины принято ориентировочно $\mu = 2$, учитывая жесткое закрепление колонны в базе и шарнирное присоединение фермы на оголовке, которое не обеспечивает закрепление от смещения верха.

В реальном проектировании коэффициенты расчетной длины подлежат уточнению согласно подобранным жесткостным параметрам и реальным условиям закрепления элементов. Принято, что из плоскости колонна надежно раскреплена системой связей, и усилия в этом направлении в ней не возникают. Связи из плоскости поставлены с шагом 3,5 м, а коэффициент расчетной длины участков между точками раскрепления составляет $\mu = 1$.

Схема раскрепления колонн из плоскости показана на рисунке 12.

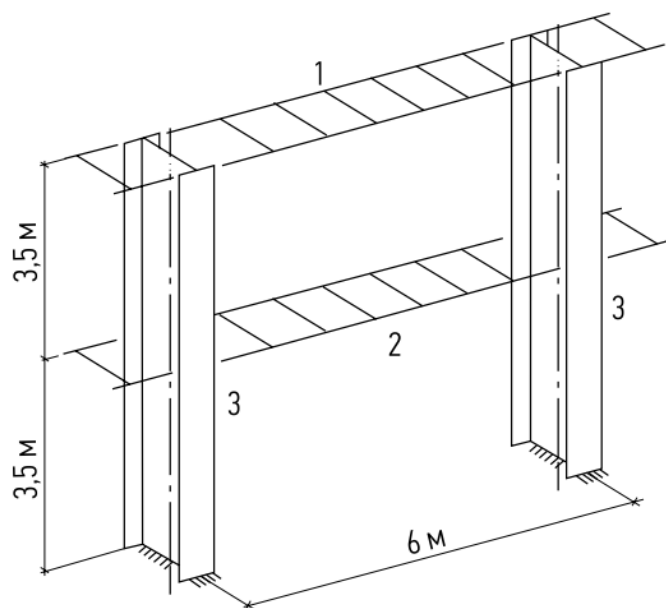


Рисунок 12 – Схема раскрепления колонн из плоскости:

1 – горизонтальные связи по верху колонн; 2 – промежуточные горизонтальные связи раскрепления из плоскости; 3 – колонны

Сечение колонны – двутавр № 50, по сортаменту ГОСТ 8239-89, который имеет следующие геометрические характеристики, указанные в таблице 12.

Сечение колонны показано на рисунке 13.

Расчетная схема поперечника здания указана в таблице 13.

Таблица 12 – Характеристики колонны

$A = 100,0 \text{ см}^2$	$i_z = 3,23 \text{ см}$
$I_y = 39\,727 \text{ см}^4$	$t_w = 10,0 \text{ мм}$
$I_z = 1\,043 \text{ см}^4$	$t_f = 15,2 \text{ мм}$
$W_y = 1\,589 \text{ см}^3$	$r = 17,0 \text{ мм}$
$W_z = 123 \text{ см}^3$	$h = 500,0 \text{ мм}$
$W_{pl,y} = 1\,852,8 \text{ см}^3$	$h_w = h - 2t_f = 469,6 \text{ мм}$
$i_y = 19, \text{с}$	$M_b = 170 \text{ кВ}$

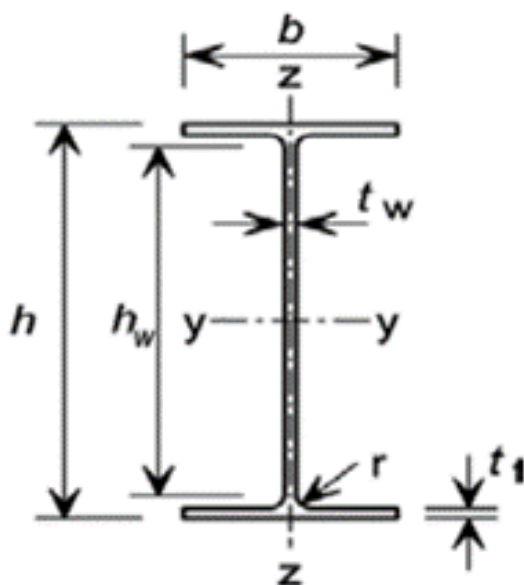


Рисунок 13 – Сечение колонны

Таблица 13 – Расчетная схема поперечника здания

Собственный вес G_k	Полезная нагрузка (переменная) Q_k	Снег S	Ветер W	Сочетание	Формула
7,3	5,7	6,8	68,4	131,2	$G_k \times 1,35 + (Q_k + S + W) \times 1,5$
-110,6	-77,1	-91	-0,6	-402,4	
-1	-0,8	-1	-14,3	-25,5	

Следовательно, принимаем в расчет левую колонну, в которой возникают большие, чем в правой, усилия по результатам сочетаний. Сечение колонны при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му Классу.

Расчетная нагрузка в условиях пожара рассчитывается по формуле 11.

$$Q_{k,l} = 91 \text{ кН};$$

$$G_k = 110,6 \text{ кН};$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,l} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\eta_{fi} = \frac{110,6 + 0,8 \times 91}{1,35 \times 110,6 + 1,5 \times 91} = 0,64 \quad ($$

Расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = 0,64 \times 402,4 = 257,54 \text{ кН};$$

$$M_{fi,d} = 0,64 \times 131,2 = 83,97 \text{ кН}.$$

Несмотря на то, что сечение колонны при нормальной температуре относится к 1-му классу, в условиях повышенной температуры оно может переходить в другие классы, поскольку:

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,85$$

Колонна принята из стали С275, для которой при номинальной толщине элемента $t \leq 40$ мм предел текучести равен: $f_y = 270 \text{ Н/мм}^2$. Для рассматриваемого двутавра имеем:

$$c = d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 500 - 2 \times 15,2 - 2 \times 17 = 435,6 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{435,6}{10} = 43,56$$

В данном случае относительная высота сжатой зоны стенки $\alpha = 0,7$. Для 1-го класса поперечных сечений имеем:

$$\frac{c}{t_f} \leq 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 38,8.$$

Проверяем условие: $43,56 > 38,8$.

Для 2-го класса поперечных сечений:

$$\frac{c}{t_f} \leq 456 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 44,6.$$

Проверяем условие: $43,56 < 44,6$.

Для полки:

$$c = (b - t_w) / 2 - r = (170 - 10) / 2 - 17 = 63,0.$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{63,0}{15,2} = 4,14$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 \varepsilon = 7,1$$

Проверяем условие: $4,14 < 7,1$.

Таким образом, при воздействии повышенной температуры данное сечение колонны относится к 2-му Классу.

Методом интерполяции определяем критическую температуру для колонны:

$$\theta_{cr} = 400 + \frac{1 - 0,68}{1,24 - 0,68} \times \frac{500 - 400}{1} = 457,1^\circ \text{C}$$

Критическая температура для балки равна $\theta_{cr} = 457,1^\circ \text{C}$.

3.5 Расчет растянутых элементов

Растянутый элемент фермы – раскос.

$N_{Ed} = 326 \text{ кН}$ – расчетное усилие в растянутом раскосе;

$t_\phi = 14 \text{ мм}$ – толщина фасонки;

$l_{ef,x} = 435 \text{ см}$ – расчетная длина в плоскости фермы;

$l_{ef,y} = 435 \text{ см}$ – расчетная длина вне плоскости фермы.

Раскос принят из спаренных горячекатаных равнополочных уголков согласно сортаменту ГОСТ 8509-93: 2шт $63 \times 5 \text{ мм}$.

Схема раскоса показана на рисунке 14.

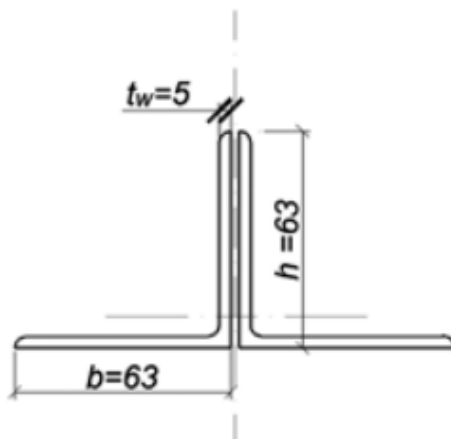


Рисунок 14 –

Схема раскоса

Геометрические характеристики одного уголка:

$$A = 6,13 \text{ см}^2;$$

$$i_x = 1,94 \text{ см};$$

$$i_y = 3,12 \text{ см}.$$

Расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$Q_{k,1} = 1,24 \text{ кН/м}^2 ;$$

$$G_k = 1,34 \text{ кН/м}^2 ;$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей);}$$

$$\eta_{fi} = 0,64;$$

$$E_{fi,d} = 208,64 \text{ кН}.$$

Критическая температура определяется исходя из значения коэффициента использования несущей способности, определяемый по формуле:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} \quad (24)$$

где $R_{fi,d,0}$ – значение расчетной несущей способности $R_{fi,d,t}$ в момент времени $t = 0$ (то есть расчетная несущая способность на растяжение до повышения температуры), $R_{fi,d,0} = N_{fi,d,0}$

$$N_{fi,d,0} = k_{y,\theta} \frac{\gamma_{MO}}{\gamma_{Mfi}} = 331,02 \text{ кН}$$

$$\mu_0 = \frac{208,64}{331,02} = 0,63$$

Критическая температура составляет $\theta_{cr} = 545,7^\circ\text{C}$

3.6 Расчет профильного и коробчатого коэффициентов сечений колонны

Согласно п. 3.1.1, центральная колонна промышленного здания имеет следующие геометрические характеристики:

Высота поперечного сечения $h = 300$ мм.

Ширина поперечного сечения $b = 200$ мм.

Высота стенки $h_w = 276$ мм .

Толщина стенки $t_w = 10$ мм.

Толщина полки $t_f = 12$ мм.

3.6.1 Расчет профильного коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 400 + 380 + 48 + 552 = 1380 (\text{мм}) = 1,38 (\text{м}).$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 4800 + 2760 = 7560 (\text{мм}^2) = 0,00756 (\text{м}^2).$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m / V колонны равен:

$$A_m / V = 1,38 / 0,00756 = 183 (\text{м}^{-1}).$$

3.6.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг рассматриваемого стального профиля, равен:

$$P_k = 2h + 2b = 600 + 400 = 1000 \text{ (мм)} = 1 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 4800 + 2760 = 7560 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,00756 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, коробчатый коэффициент сечения A_{mk} / V колонны равен:

$$A_{mk} / V = 1 / 0,00756 = 132 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

3.7 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений балки

Главная балка каркаса здания закреплена на колоннах, и её верхний пояс не является раскрепленным из плоскости. Балка имеет следующие геометрические характеристики:

Высота поперечного сечения $h = 400 \text{ мм}$.

Ширина поперечного сечения $b = 300 \text{ мм}$.

Высота стенки $h_w = 368 \text{ мм}$.

Толщина стенки $t_w = 10 \text{ мм}$.

Толщина полки $t_f = 16 \text{ мм}$.

3.7.1 Расчет профильного коэффициента сечения

При воздействии огня балка будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 600 + 580 + 64 + 736 = 1980 \text{ (мм)} = 1,98 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения балки:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 9600 + 3680 = 13280 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,01328 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m / V балки равен:

$$A_m / V = 1,98 / 0,01328 = 149 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

3.7.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня балка будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного стального профиля, равен:

$$P_k = 2h + 2b = 800 + 600 = 1400 \text{ (мм)} = 1,4 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения балки:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 9600 + 3680 = 13280 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,01328 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, коробчатый коэффициент сечения A_{mk} / V балки равен:
 $A_{mk} / V = 1,4 / 0,01328 = 105 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$

3.8 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений раскоса фермы

Раскос фермы представляет собой два спаренных равнополочных уголка №63×5 по ГОСТ 8509-93. Элемент фермы имеет следующий геометрический вид: Уголок №63 имеет следующие размеры:

Высота поперечного сечения $h = 63 \text{ мм}.$

Ширина поперечного сечения $b = 63 \text{ мм}.$

Толщина стенки $t_w = 5 \text{ мм}.$

Площадь поперечного сечения $S = 6,13 \text{ см}^2.$

3.8.1 Расчет профильного коэффициента сечения

Раскос как отдельный элемент фермы будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 6h = 378 \text{ (мм)} = 0,378 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения раскоса:

$$S_p = 2S = 12,26 \text{ (см}^2\text{)} = 0,001226 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m / V раскоса, выполненного из спаренных уголков, равен:

$$A_m / V = 0,378 / 0,001226 = 308 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

3.8.2 Расчет коробчатого коэффициента сечения

Данный элемент фермы будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного элемента, равен:

$$P_k = 2h + 4b = 6h = 378 \text{ (мм)} = 0,378 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения раскоса:

$$S_p = 2S = 12,26 \text{ (см}^2\text{)} = 0,001226 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Коробчатый коэффициент сечения A_{mk} / V раскоса, выполненного из спаренных уголков, равен: $A_{mk} / V = 0,378/0,001226 = 308 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$

3.9 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты

3.9.1 Для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 60

Согласно проведенным расчетам критическая температура колонны в условиях пожара при заданной нагрузке составляет: $q_{cr} = 664,6^\circ\text{C}$, при коэффициенте профильного сечения, равном $A_m / V = 183 \text{ (м}^{-1}\text{)}$, и коэффициенте коробчатого сечения $A_{mk} / V = 132 \text{ (м}^{-1}\text{)}$.

Для повышения предела огнестойкости колонны до 60 минут возможно использование интумесцентных огнезащитных покрытий. К примеру, состав «POLYLACK А» испытан согласно методике, ДСТУ Б В.1.1-17 (Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических

конструкций. Методы определения огнезащитной способности) и для класса огнестойкости R 60 имеет следующие значения толщин (Таблица 15):

Таблица 15 – Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «POLYLACK A», при которых температура ниже проектной для R 60

Проектная температура, °C		400	450	500	550	600	650
		Класс огнестойкости R 60					
		Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм					
Приведенная толщина, $\delta_{пр}$, мм	Коэффициент сечения, A_{mk}/V (m^{-1})						
14,49	69	0,86	0,73	0,60	0,48	0,35	0,26
14,29	70	0,87	0,74	0,61	0,49	0,36	0,26
12,50	80	0,99	0,86	0,72	0,59	0,46	0,34
11,11	90	1,11	0,97	0,83	0,69	0,56	0,43
10,00	100	1,22	1,07	0,93	0,79	0,65	0,52
9,09	110	1,32	1,18	1,03	0,89	0,74	0,60
8,33	120	1,43	1,27	1,12	0,98	0,83	0,69
7,69	130	-	1,37	1,21	1,05	0,91	0,77
7,14	140	-	1,46	1,30	1,15	0,99	0,84
6,67	150	-	-	1,39	1,23	1,07	0,91
6,25	160	-	-	1,47	1,30	1,14	0,98
5,88	170	-	-	-	1,38	1,21	1,05
5,56	180	-	-	-	1,45	1,28	1,12
5,26	190	-	-	-	-	1,35	1,18
5,00	200	-	-	-	-	1,41	1,24
4,76	210	-	-	-	-	-	1,30
4,55	220	-	-	-	-	-	1,36
4,35	230	-	-	-	-	-	1,41
4,17	240	-	-	-	-	-	1,46

Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением профильного коэффициента сечения является $190\ m^{-1}$ (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значением критической температуры – $650^{\circ}C$ (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «POLYLACK A» составляет: $d_p = 1,18$ мм.

В связи с тем, что расчетная критическая температура стальной колонны выше 500°C , возможно применение огнезащитных покрытий, испытанных по ДСТУ Б В.1.1-14.

Покрытие «Экопласт», являясь огнезащитным средством конструктивной огнезащиты, поставляемое в виде плит, испытано согласно данному стандарту. Для класса огнестойкости R 60 покрытие имеет следующие значения толщин (Таблица 16).

Таблица 16 – Минимальные значения толщин огнезащитной системы покрытия «Экопласт» для обеспечения класса огнестойкости R 60 стальных колонн

Класс огнестойкости стальной конструкции	Приведенная толщина стальной конструкции, не менее, мм / Коэффициент сечения, A_{mk}/V , (м^{-1})	Общая толщина системы огнезащитного покрытия, при использовании плиты толщиной 20 мм, не менее, мм
R 60	4,74 / 151	22 при облицовке в один слой (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм)
R 120		42 при облицовке в два слоя (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм)
R 180		62 при облицовке в три слоя (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм)

Для рассматриваемого случая ближайшим и единственным значением коробчатого коэффициента сечения является 151 м^{-1} (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее

расчетного). Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции система огнезащитного покрытия «Экопласт» должна состоять из одного слоя огнезащитной плиты толщиной 20 мм, оштукатуренной 2 мм финишной штукатурки КНАУФСТАР.

3.9.2 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R 45

Критическая температура балки в условиях пожара при заданной нагрузке составляет: $\theta_{cr} = 468,8$ °С, при профильном коэффициенте сечения, равном $A_m / V = 149$ (м⁻¹), и коробчатом коэффициенте сечения $A_{mk} / V = 105$ (м⁻¹).

Для повышения предела огнестойкости балки до 45 минут применяются интумесцентные огнезащитные покрытия. Как пример, огнезащитная краска «AMOTHERM STEEL WB» испытана согласно ДСТУ Б В.1.1-17 и для класса огнестойкости R 45 имеет следующие значения толщин (табл. 17).

Таблица 17 – Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «AMOTHERM STEEL WB», при которых температура ниже проектной для R 45

Проектная температура, °С		400	450	500	550	600	650
		Класс огнестойкости R 45					
		Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм					
Приведенная толщина, δпр, мм	Коэффициент сечения, A_{mk}/V (м ⁻¹)						
14,5	69	0,55	0,40	0,29	0,21	0,21	0,21
14,3	70	0,56	0,41	0,30	0,21	0,21	0,21
12,5	80	0,65	0,49	0,37	0,26	0,21	0,21
11,1	90	0,74	0,57	0,43	0,32	0,23	0,21
10,0	100	0,83	0,64	0,49	0,37	0,27	0,21

Продолжение таблицы 17

9,1	110	0,91	0,70	0,55	0,42	0,32	0,23
8,3	120	0,98	0,76	0,60	0,46	0,35	0,06
7,7	130	1,05	0,82	0,64	0,50	0,39	0,29

7,1	140	1,11	0,87	0,69	0,54	0,42	0,32
6,7	150	1,17	0,92	0,73	0,57	0,45	0,35
6,3	160	1,23	0,97	0,76	0,61	0,48	0,38
5,9	170	-	1,01	0,80	0,64	0,51	0,40
5,6	180	-	1,05	0,83	0,67	0,53	0,42
5,3	190	-	1,09	0,87	0,69	0,55	0,44
5,00	200	-	1,12	0,90	0,72	0,57	0,46
4,8	210	-	1,16	0,92	0,74	0,60	0,48
4,5	220	-	1,19	0,95	0,76	0,61	0,49
4,3	230	-	1,22	0,97	0,78	0,63	0,51
4,2	240	-	1,25	1,00	0,80	0,65	0,52
4,0	250	-	-	1,02	0,82	0,67	0,54
3,8	260	-	-	1,04	0,84	0,68	0,55
3,7	270	-	-	1,06	0,86	0,69	0,56
3,6	280	-	-	1,08	0,87	0,71	0,58
3,4	290	-	-	1,10	0,89	0,72	0,59
3,3	300	-	-	1,12	0,91	0,74	0,60

Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением профильного коэффициента сечения является 150 м^{-1} (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значение критической температуры - 450°C (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного). Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «AMOTHERM STEEL WB» составляет: $d_p = 0,92 \text{ мм}$.

3.9.3 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 150

Критическая температура колонны в условиях пожара при заданной нагрузке составляет: $q_{cr} = 664,6^{\circ}\text{C}$, при коэффициенте профильного сечения, равном $A_m / V = 183 \text{ (м}^{-1}\text{)}$, и коэффициенте коробчатого сечения $A_{mk} / V = 132 \text{ (м}^{-1}\text{)}$.

Для повышения предела огнестойкости колонны до 150 минут возможно использование конструктивных методов в виде огнезащитных плит. Как пример, плита «Эндотерм 210104» испытана согласно методике, изложенной в ДСТУ Б В.1.1-17, и для класса огнестойкости R150 имеет следующие значения толщин (табл. 18).

Таблица 18 – Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Плита «Эндотерм 210104», при которых температура ниже проектной для R 150

Проектная температура, °C		400	450	500	550	600	650
		Класс огнестойкости R 60					
		Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм					
Приведенная толщина, $\delta_{пр}$, мм	Коэффициент сечения, A_{mk}/V (m^{-1})						
20,0	50	29,1	26,8	24,7	22,8	21,0	19,4
16,7	60	32,3	30,0	27,9	25,9	24,1	22,4
14,3	70	35,1	32,8	30,6	28,6	26,8	25,1
12,5	80	37,5	35,1	32,9	30,9	29,1	27,3
11,1	90	39,5	37,2	35,0	33,0	31,1	29,3
10,0	100	41,3	39,0	36,8	34,7	32,9	31,1
9,1	110	42,9	40,6	38,4	36,6	34,4	32,7
8,3	120	44,4	42,0	39,8	37,8	35,9	34,1
7,7	130	45,7	43,3	41,1	39,0	37,1	35,4
7,1	140	46,8	44,4	42,2	40,2	38,3	36,5
6,7	150	47,9	45,5	43,3	41,3	39,3	37,6
6,3	160	48,8	46,5	44,3	42,2	40,3	38,5
5,9	170	49,7	47,3	45,1	43,1	41,2	39,4
5,6	180	50,5	48,1	45,9	43,9	42,0	40,2
5,3	190	51,2	48,9	46,7	44,6	42,7	40,9
5,0	200	51,9	49,6	47,4	45,3	43,4	41,6
4,8	210	52,9	50,2	48,0	46,0	44,1	42,3
4,5	220	53,1	50,8	48,6	46,6	44,7	42,9
4,3	230	53,7	51,3	49,2	47,1	45,2	43,4
4,2	240	54,2	51,9	49,7	47,7	45,8	44,0
4,0	250	54,7	52,3	50,2	48,1	46,2	44,5

Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением коэффициента сечения является $140 m^{-1}$ (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее

расчетного), а значение критической температуры – 400 °С (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного). Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «Плита «Эндотерм 210104» составляет: $d_p = 44,4$ мм.

3.9.4 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для элемента фермы с целью повышения класса огнестойкости до R 30

Критическая температура раскола в условиях пожара при заданной нагрузке составляет: $\theta_{cr} = 545,7$ °С, при профильном и коробчатом коэффициентах сечения $A_m / V = 308$ (м⁻¹).

Для повышения предела огнестойкости до 30 минут возможно использование интумесцентных огнезащитных покрытий. Как пример, состав «Феникс СТС» испытан согласно методике, изложенной в ДСТУ Б В.1.1-17, и для класса огнестойкости R 30 имеет следующие значения толщин (табл. 19).

Таблица 19 – Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Феникс СТС», при которых температура ниже проектной для R 30

Проектная температура, °С		400	450	500	550	600	650
		Класс огнестойкости R 30					
		Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм					
Приведенная толщина, $\delta_{пр}$, мм	Коэффициент сечения, A_{mk}/V (м ⁻¹)						
14,49	69	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
14,29	70	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
12,50	80	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
11,11	90	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
10,00	100	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

Продолжение таблицы 19

9,09	110	0,27	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
8,33	120	0,34	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
7,69	130	0,41	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

7,14	140	0,47	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
6,67	150	0,53	0,28	0,23	0,23	0,23	0,23
6,25	160	0,58	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23
5,88	170	0,63	0,37	0,23	0,23	0,23	0,23
5,56	180	0,68	0,41	0,23	0,23	0,23	0,23
5,26	190	0,73	0,45	0,23	0,23	0,23	0,23
5,00	200	0,77	0,49	0,24	0,23	0,23	0,23
4,76	210	0,81	0,52	0,27	0,23	0,23	0,23
4,55	220	0,85	0,56	0,30	0,23	0,23	0,23
4,35	230	0,88	0,59	0,33	0,23	0,23	0,23
4,17	240	0,92	0,62	0,36	0,23	0,23	0,23

Ближайшим значением профильного коэффициента сечения является 310 м^{-1} (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значение критической температуры – 500°C (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного). Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «Феникс СТС» составляет: $d_p = 0,51 \text{ мм}$.

3.10 Выбор огнезащитных материалов и их характеристики

При экономически обоснованном соотношении величины вероятного ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, вспучивающиеся огнезащитные покрытия являются наиболее оптимальным вариантом для повышения предела огнестойкости стальных конструкций. Огнезащитные свойства вспучивающихся покрытий проявляются за счет увеличения толщины слоя и изменения теплофизических характеристик при тепловом воздействии в условиях пожара. При воздействии высоких температур покрытия вспучиваются, увеличиваясь в объеме в 25-30 раз, образуя пористый термоизолирующий слой. Благодаря низкой теплопроводности пористый слой предотвращает нагрев металла.

Для обеспечения требуемого предела огнестойкости стальных

конструкций применяется огнезащитная краска НЕОФЛЭЙМ®513 (ТУ 2316-010-29346883-2008).

При экономически обоснованном соотношении величины вероятного ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, конструктивная огнезащита CompositTherm STEEL (CT-S) (ТУ 5769-002-72312159-2012) является наиболее оптимальным вариантом для повышения предела огнестойкости стальных конструкций до REI90.

3.10.1 Техническая характеристика огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL

Огнезащитная краска НЕОФЛЭЙМ®513 представляет собой водно-дисперсионную композицию на основе дисперсии поливинилацетата, наполнителей, пигментов и целевых добавок.

Краска предназначена для создания огнезащитного покрытия на стальных строительных конструкциях с целью повышения их предела огнестойкости.

Огнезащитная краска НЕОФЛЭЙМ®513 имеет сертификаты соответствия № С-RU.ПБ05.В.01922, № С-RU.ПБ05.В.01923, а также свидетельство о государственной регистрации № RU.32.БО.21.008.Е.000784.11.11. Огнезащитный состав CompositTherm STEEL (CT-S) состоит из огнеупорной мастики CompositTherm MASTIC (CT-M) и материала прошивного базальтового огнезащитного рулонного CompositTherm BASALT (CT-B).

Огнеупорная мастика «СТ-М» представляет собой композицию на основе неорганических связующих и минеральных наполнителей. При температуре эксплуатации и хранения не выделяет вредных веществ в концентрациях, опасных для организма.

Огнеупорная мастика «СТ-М» состоит из двух компонентов: жидкого и порошкообразного, которые смешиваются в условиях производства с помощью быстросходной дрели в соотношении 1:1.

Огнеупорная мастика «СТ-М» предназначена для создания огнезащитного покрытия на стальных строительных конструкциях с целью повышения их предела огнестойкости.

3.10.2 Входной контроль огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL

Качество огнезащитных материалов гарантируется предприятием-изготовителем при соблюдении условий хранения и транспортировки в соответствии с ТУ 2316-010-29346883-2008 (НЕОФЛЭЙМ®513) и ТУ 5769-002-72312159-2012 (CompositTherm STEEL (СТ-S)).

Каждая партия огнезащитного материала сопровождается сертификатом качества продукции, составленным в соответствии с требованиями ГОСТ 9980.1-86 и подписанным ОТК предприятия-изготовителя. Входной контроль по показателю «внешний вид» поступившей краски ведет прораб, мастер или бригадир.

На предприятии-изготовителе функционирует (сертифицированная LRQA) система менеджмента качества, в соответствии с ИСО 9001-2008, что является подтверждением гарантии качества продукции.

3.10.3 Оборудование и инструменты

Для нанесения огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 на металлические конструкции необходимо следующее оборудование и инструменты:

- агрегат высокого давления типа «Вагнер» НС-940 (960);

- шпатель;
- малярная кисть, валик;
- миксер;
- толщиномер типа «Константа-5».

Для нанесения конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL на металлические конструкции необходимо следующее оборудование и инструменты:

- шпатель;
- малярная кисть, валик;
- быстроходная дрель;
- ножницы, сапожный нож, строительный резак;
- толщиномер типа «ГРЕБЕНКА».

3.10.4 Правила выполнения работ по нанесению огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 и конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL

Нанесение огнезащитных материалов производится в соответствии с техническими условиями ТУ 2316-010-29346883-2008 (НЕОФЛЭЙМ®513) и ТУ 5769-002-72312159-2012 (CompositTherm STEEL (СТ-S)) и технологической инструкцией ТИ 021-2008.

Подготовка поверхностей для огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 включает следующие технологические процессы:

- очистка от грязи, ржавчины, окалины, старой краски;
- восстановление антикоррозионного покрытия стальных конструкций грунтовкой ГФ-021 или другой, указанной в Технологических инструкциях.

При нанесении огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 температура окружающего воздуха должна быть не ниже +5 °С. Не допускается нанесение краски НЕОФЛЭЙМ®513 при отрицательных температурах и воздействии атмосферных осадков.

Огнезащитная краска НЕОФЛЭЙМ®513 наносится на поверхность стальных конструкций методом безвоздушного распыления, а также вручную послойно малярной кистью.

Рекомендуемые рабочие параметры установки безвоздушного распыления «Вагнер» НС-940 (960) приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Рабочие параметры установки безвоздушного распыления «Вагнер» НС-940 (960)

- Наименование показателя	- Рекомендуемое значение
- Давление краски, МПа	- 19 - 22
- Размер форсунки для распыления, дюйм	- 0015 - 0021
- Угол распыла, градус	- 10 - 60
- Расстояние от форсунки до покрываемой поверхности, мм: - при направлении краски вверх, - при направлении краски вниз и горизонтально - В труднодоступных местах	- 400 - 1000 - 500 - 1000 - не менее 300
- Длина шланга 3/4", м: - при работе одного поста - при работе двух постов	- не более 60 м - не более 30 м

Продолжительность сушки промежуточных слоев огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 не менее 6 часов при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности не более 85 %. При снижении температуры и повышении влажности воздуха время сушки увеличивается.

На рисунке 19 показано нанесение краски НЕОФЛЭЙМ®513 и покрывного состава на двутавровую балку.

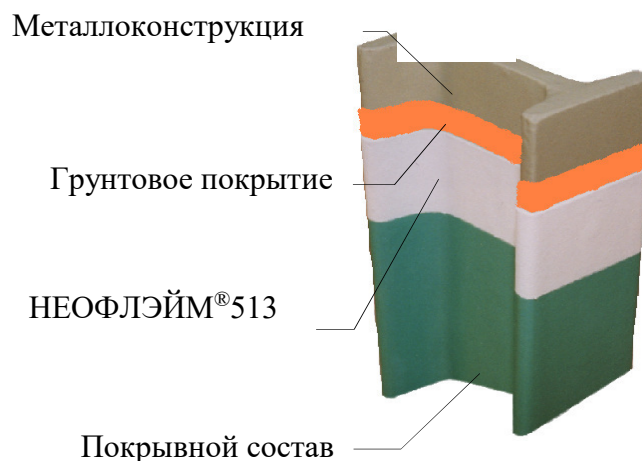


Рисунок 19 – Двутавровая балка с нанесением краски НЕОФЛЭЙМ®513 и покрывного состава

Для повышения влагоустойчивости поверх огнезащитной краски возможно нанесение покрывного слоя с цветовым оттенком согласно RAL, указанным генпроектировщиком или заказчиком. На рисунке 20 показана обработка конструкций в труднодоступных местах.

При наличии труднодоступных мест для огнезащиты металлических конструкций дополнительно предусмотреть забивку минераловатными плитами (группа горючести НГ) глубиной не менее 50 мм. После монтажа минераловатных плит на открытую поверхность плит нанести слой огнезащитного покрытия толщиной не менее толщины слоя покрытия на конструкции.

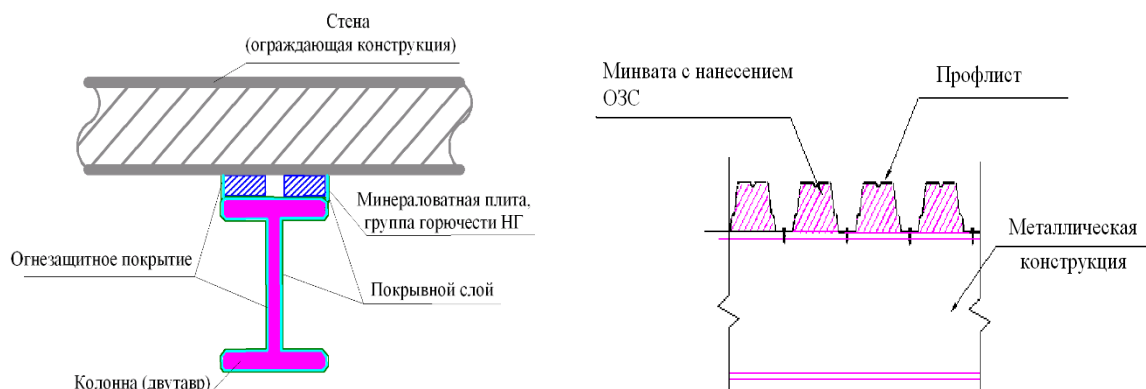


Рисунок 20 – Огнезащитная обработка металлических конструкций в труднодоступных местах

Подготовка поверхностей для конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL (СТ-S) включает следующие технологические процессы:

- очистка от грязи, ржавчины, окалины, старой краски;
- восстановление антикоррозионного покрытия стальных конструкций грунтовкой ГФ-021;
- приготовление огнеупорной мастики;
- раскрой фольгированных базальтовых матов.

Приготовление огнеупорной мастики осуществляется непосредственно на строительной площадке ручным способом или с помощью быстросходной дрели в емкости. Емкость заполняется компонентом 1 (в жидкой форме), добавляется компонент 2 (порошкообразная форма) в соотношении 1:1 (по массе). Композиция перемешивается в течении 3 – 5 минут до получения однородной массы. Приготовление, нанесение и сушка состава производится при температуре не ниже +3 °С и относительной влажности воздуха не более 80%.

Раскрой базальтовых матов в соответствии с требуемыми размерами производится вручную с помощью ножниц, сапожных ножей или строительных резачков.

Огнеупорная мастика наносится с помощью шпателя, сушится до образования полусухой липкой пленки, затем сверху наклеиваются раскроенные по размерам базальтовые маты встык (рис. 21,22).

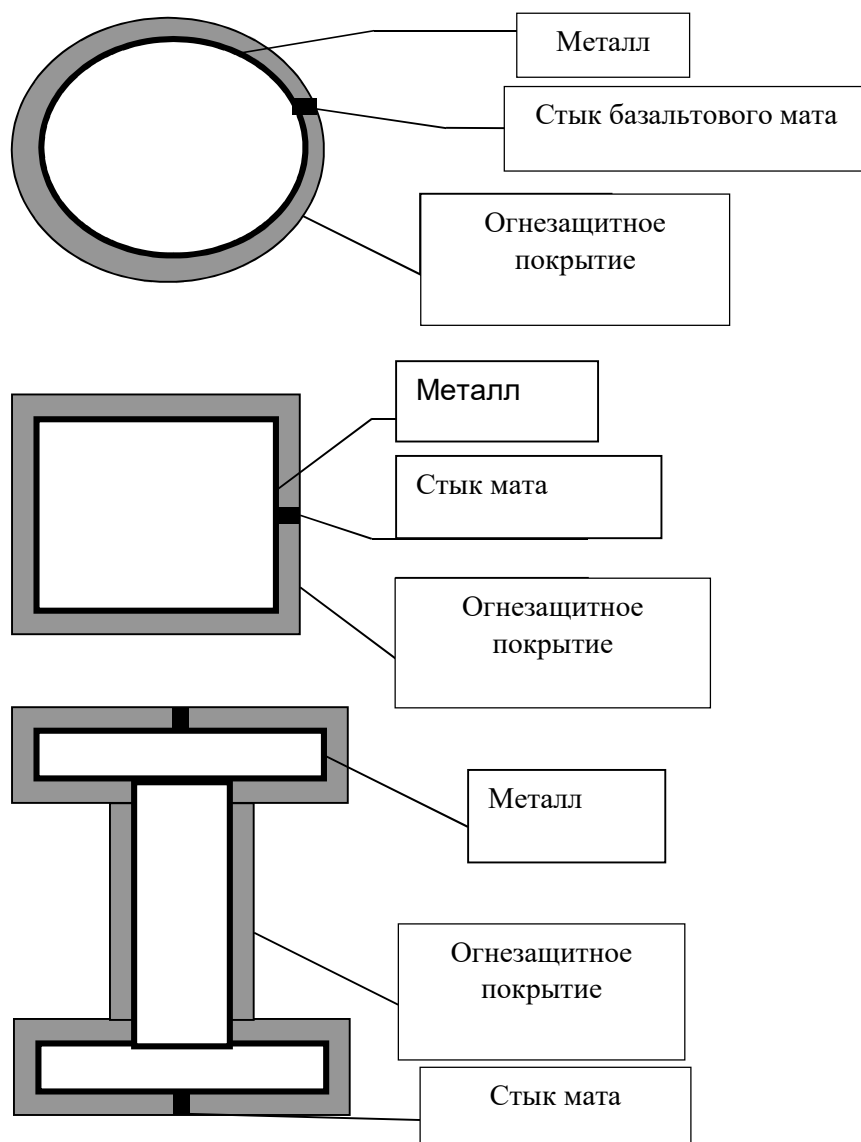


Рисунок 21 – Схема огнезащиты металлических конструкций огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S)



Рисунок 22 – Металлическая конструкция с нанесением конструктивного огнезащитного состава CompositTherm STEEL (CT-S)

3.10.5 Контроль качества огнезащитного покрытия производителем

В процессе нанесения огнезащитного покрытия на основе краски НЕОФЛЭЙМ®513 в соответствии с ТУ 2316-010-29346883-2008 представителем фирмы (прорабом), которая проводит работы, контролируется проектная толщина и качество нанесения огнезащитного покрытия.

Внешний вид готового покрытия оценивается визуально. Огнезащитное покрытие на основе огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 должно соответствовать V классу в соответствии с ГОСТ 9.032-74. Покрытие, поврежденное при производстве работ, должно быть восстановлено в соответствии с технологическими инструкциями ТИ 021-2008.

Приемка выполненных огнезащитных работ оформляется актом сдачи-приемки работ установленной формы.

Процессе нанесения огнезащитного состава на основе конструктивной огнезащиты CompositTherm STEEL (CT-S) в соответствии с ТУ 5769-002-72312159-2012 прорабом контролируется проектная толщина

нанесения огнеупорной мастики. Толщина огнеупорной мастики контролируется с помощью толщиномера типа «ГРЕБЕНКА» по сырому слою в момент нанесения до приклеивания базальтового полотна. Контроль толщины сухого слоя мастики не допускается, поскольку не может дать точных данных. Это связано с тем, что при приклеивании огнезащитного мата к мастике часть мастики впитывается в базальтовый материал.

Внешний вид готового покрытия оценивается визуально. Покрытие, поврежденное при производстве работ, должно быть восстановлено в соответствии с технологическим регламентом № 002СТ-2012.

3.10.6 Гарантийный срок эксплуатации огнезащитного покрытия

Гарантийный срок эксплуатации огнезащитных покрытий на основе огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ®513 в соответствии с ТУ составляет 25 лет.

3.10.7 Проверка огнезащитного покрытия при эксплуатации здания

При эксплуатации здания, не реже 1-го раза в шесть месяцев, представителем службы эксплуатации здания производится проверка всего огнезащитного покрытия внешним осмотром. Результаты проверки заносятся в специальный журнал. При обнаружении дефектов (трещины, изменения цвета, инородные включения, отслоения, вздутия, нарушение целостности покрытия) необходимо произвести ремонт огнезащитного покрытия.

3.10.8 Техника безопасности

При применении огнезащитных красок необходимо соблюдать общие требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91, общие требования безопасности по ГОСТ 12.3.002-75*, гигиенические требования к организации

технологических процессов в соответствии с СП 2.2.2.1327-03, а также типовые правила пожарной безопасности промышленных предприятий.

При работе с оборудованием, предназначенным для перемешивания и нанесения огнезащитных материалов, необходимо соблюдать требования безопасности, предусмотренные в инструкциях по эксплуатации данного оборудования.

Персонал, занятый подготовкой и нанесением огнезащитных красок, должен быть обеспечен специальной одеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с ГОСТ 12.4.011-89.

При попадании краски на открытые участки кожи ее необходимо смыть с мылом под струей воды и смазать вазелином.

При попадании краски в глаза следует немедленно промыть их струей воды, а затем обратиться к врачу.

Во время работ по подготовке и нанесению краски запрещается курить и принимать пищу.

4 Социальная ответственность

4.1 Описание рабочего места. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Объектом исследования является рабочее место сварщика лабораторного комплекса ЮТИ ТПУ.

Здание лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ имеет общую площадь равную 540 м². Длина помещения – 18, ширина – 30. Рабочая площадь здания – 340 м². В рабочей зоне расположено оборудование для сварки, резки и нагрева различных видов металла:

- сварочные аппараты аргонодуговой сварки с использованием в сварочном производстве углекислого газа и аргона, запасенного в баллонах;
- аппарат плазменной резки металла с использованием аргона запасенного в баллонах;
- металлургические печи с температурой нагрева до 1300 °С.

Категория работ в помещении – Пб (в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96), ТНС-индекс (индекс тепловой нагрузки среды, характеризующий сочетание действия на человека параметров микроклимата) – 19,5-23,9. Интенсивность энергозатрат при выполнении работ – 233-290 Вт [48].

При работе лабораторного корпуса на сварщика могут влиять следующие вредные и опасные факторы:

- сварочная пыль;
- ультрафиолетовое излучение;
- видимый свет;
- инфракрасное излучения;
- ионизирующее излучение;
- шум;
- ультразвук;

- лазерные лучи;
- электрический ток;
- искры, брызги, выбросы расплавленного металла;
- механические опасности;
- взрыв систем под давлением.

4.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой среды

4.2.1 Сварочная пыль

В процессе работы сварочного оборудования в закрытом помещении в воздух выделяется сварочная пыль в виде аэрозоля, которая содержит в себе мелкие взвешенные частицы металлов в твердой фазе. При повышенной концентрации в воздухе данных частиц возможно развитие профессиональных и онкологических заболеваний дыхательных путей рабочего персонала, находящегося в рабочей зоне. К таким заболеваниям относят бронхит, пневмокониоз и др. [49].

Нормирование и измерение содержания в воздух рабочей зоны вредных веществ производится в соответствии с нормативными документами [8,31,32,33]. Содержание сварочной пыли в воздухе рабочего помещения должно равняться 4 мг/м^3 [50]. Практически данное содержание в воздухе рабочего места сварочной пыли в пределах нормы.

Для защиты рабочего персонала от вредного воздействия сварочной пыли достаточно обеспечить постоянное проветривание помещения.

4.2.2 Видимый свет. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения

При проведении сварочных работ сварочная дуга испускает видимое яркое свечение и невидимое глазу ультрафиолетовое и инфракрасное излучение.

Интенсивность этих свечений зависит от силы сварочного тока и величины напряжения. Видимое свечение в силу своей яркости способствует ослеплению рабочего. Короткие ультрафиолетовые лучи вызывают электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают сильно выраженным тепловым эффектом, напрямую зависящие от мощности сварочной дуги.

При длительном воздействии инфракрасного излучения возможно развитие дерматита, получение ожога или теплового удара; при прямом наведении инфракрасных лучей на глаза рабочего вероятно развитие катаракты или ожога сетчатки.

Нормирование видимого света, ультрафиолетового и инфракрасного излучения производится в соответствии с нормативными документами [48]. Установлены допустимые величины ультрафиолетового излучения на постоянных и непостоянных рабочих местах (облученность) от производственных источников с учетом спектрального состава излучения для областей: длинноволновой – 400 - 315 нм – УФ-А; средневолновой – 315 - 280 нм – УФ-В; коротковолновой – 280 - 200 нм – УФ-С[50].

Учитывая, что при электросварке на сварщика действуют не только прямая ультрафиолетовая радиация, но и рассеянная, отраженная от окружающих поверхностей, необходимо окрашивать стены кабин и сварочных цехов, переносные ширмы в светлые матовые тона с применением цинковых белил, желтого крона или титановых белил, которые поглощают ультрафиолетовые лучи.

Кожа и глаза сварщика должны быть защищены от воздействия лучей дуги. Кожа тела защищается специальной рабочей одеждой, лицо защищается щитком или шлемом, кисти рук — рукавицами, а глаза — специальными стеклами-светофильтрами, вставляемыми в щиток или шлем. В масках или шлемах между темным и прозрачным стеклами должен быть зазор 0,5 – 1 мм, чтобы защитить глаза от перегрева.

При работе на стационарных сварочных станках или установках для

защиты сварщика-оператора от излучений дуги устанавливают откидные экраны со светофильтрами. Размер экрана должен быть не менее 200 x 200 мм.

При электродуговой сварке алюминиевых сплавов с подогревом сварщиков необходимо обеспечивать обувью с толстой теплоизоляционной подошвой и специальными подлокотниками и наколенниками.

Для защиты от излучений дуги сборщиков, непосредственно работающих со сварщиками, следует снабжать сварочными масками.

Для защиты окружающих лиц место сварки следует ограждать переносными щитами или экранами (ширмами).

4.2.3 Шум

Уровень шума при сварочных работах зависит от режима сварки. Так, при механизированной сварке в углекислом газе при изменении силы тока от 200 до 450 А уровень шума возрастает от 86 до 97 дБА, а при сварке в аргоне увеличение тока от 150 до 500 А приводит к росту интенсивности шума от 90 до 150 дБА, т.е. на отдельных режимах превышает норму [49].

В помещении уровень шума при работе на сварочном или режущем оборудовании при условии работы вентиляционной системы составляет 85-90 дБА, что при длительном воздействии на человека является вредным фактором и может со временем привести к развитию тугоухости.

Для защиты рабочего от прямого воздействия звуковой энергии на пути распространения звуковых волн устанавливают отражающие экраны, которые весьма эффективны при защите от высокочастотных составляющих спектра шума. Звукопоглощающие облицовки из волокнистых материалов позволяют снизить уровень шума на 8-12 дБА, причем большее снижение происходит на высоких частотах.

В качестве индивидуальной защиты рабочих от шума применяют вкладыши из ваты, пропитанной воском или глицерином, или пробочки из

губчатой резины, закладываемые в наружное отверстие уха, и специальные противошумы, плотно закрывающие ухо.

4.2.4 Ультразвук

При работе на аппарате плазменной резки металлов отмечается интенсивное воздействие на рабочих ультразвука. Ультразвук распространяется как в воздушной среде (воздушный ультразвук), так и контактным способом через твердую среду металла и оборудования (контактный ультразвук).

Нормирование ультразвуковых волн в производственном помещении определяется в соответствии с ГОСТ 12.1.001-89. В соответствии с данным документом, звуковое давление ультразвука не должно превышать 100 дБ, а при контактном способе передачи ультразвука – не более 105 дБ [49].

Практически, при работе на аппарате плазменной резки металлов, уровень ультразвука колеблется в пределах 95-105 дБ, что является нормальным для данного вида работ.

В целях защиты рабочего персонала от воздействия ультразвуковых волн необходимо обеспечить оборудование дистанционным управлением, автоблокировкой процесса для проведения вспомогательных работ.

Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах необходимо применять две пары перчаток: резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные. Для защиты работающих от неблагоприятного воздействия воздушного ультразвука следует применять противошумы в соответствии с ГОСТ Р 12.4.213-99 [49].

4.2.5 Ионизирующее излучение

При работе аппарата плазменной резки металлов образуется ионизирующее излучение. При воздействии на человека длительное время оно способно вызывать развитие раковых заболеваний кожи или внутренних органов (при вдыхании ионизированного воздуха), а также покраснение кожных покровов, выпадение волос и развитие лучевой болезни.

Уровень воздействия ионизирующего излучения на человека в большей степени зависит от получаемой дозы облучения, а также от времени воздействия данного фактора на человека.

Нормирование ионизирующего излучения производят в соответствии с СанПиН 2.6.1.2523-09 [47]. Для защиты от ионизирующего излучения необходимо сокращать время работы источников ионизирующего излучения и их мощность, увеличивать расстояние от источника излучения до оператора, устанавливать на время работы защитные экраны, поглощающие ионизирующие лучи, переводить работу источников ионизирующего облучения на автоматический режим.

В качестве индивидуальной защиты необходимо использовать халаты и комбинезоны, а также шапочки, пошитые из хлопчатобумажной ткани. Органы зрения защитят от ионизирующего излучения очки, в которые вставляют специальные содержащие вольфрам, свинец или фосфат стекла.

4.2.6 Микроклимат

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата описаны в СН 2.2.4.548-96 [49]. Сварочные работы относятся к категории работ IIб.

Для данного вида работ в таблице 21 представлены допустимые и оптимальные показатели микроклимата, а также приведены результаты измерений параметров микроклимата для исследуемого объекта.

Таблица 21 – Параметры микроклимата

	Оптимальные		Допустимые				Параметры на момент исследования
	Теплое время года	Холодное время года	Ниже оптимальных	Выше оптимальных	Ниже оптимальных	Выше оптимальных	
Температура воздуха, °С	19-20	17-19	16-18	21-27	15-16	19-22	116
Относительная влажность воздуха, %	40-60	40-60	15-75		15-75		49,7
Скорость потока воздуха, м/с	0,2	0,2	-	0,2-0,5	-	0,2-0,4	0,3
Температура поверхностей, °С	18-22	16-20	15-28		14-23		18

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что показатели микроклимата учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ являются допустимыми.

4.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой среды

В процессе работы лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ возможно проявление следующих опасных факторов, воздействующих на рабочий персонал:

- электрический ток;
- искры, брызги расплавленного металла;

- движущиеся механизмы;
- возможность взрыва систем под высоким давлением.

Меры защиты рабочих от большинства опасных факторов представлены в ГОСТ Р ИСО 11611-2011 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла при сварочных и аналогичных работах. Технические требования».

Во время проведения сварочных работ не исключено разбрызгивание расплавленного металла, который может попасть на кожу человека, вызывая сильные ожоги. Особо опасными видами работ по данному фактору являются работы с аппаратами ручной дуговой сварки, плазменной и газовой сварки, газовой резки, дуговая сварка в защитных газах. Во время работы может происходить разбрызгивание как электрода, так и свариваемого материала. При контактной сварке достаточной защитой от брызг и выплесков металла является фартук из плотной хлопчатобумажной ткани.

Для защиты глаз от брызг расплавленного металла и искр при работе на контактных машинах рабочий должен надевать очки с простыми стеклами. При сварке на машине для стыковой сварки с целью защиты от отлетающих брызг следует пользоваться брезентовым костюмом и работать в головном уборе. Нагрев некоторых элементов сварочных, режущих и плавильных агрегатов может привести к травматизму, связанному с термическим воздействием. Поражение происходит за счет непосредственного контакта с нагретой поверхностью или элементом аппаратуры. Нагревание элементов и аппаратов происходит за счет подачи электрического тока.

В сварочных аппаратах наиболее опасным элементом является сварочная дуга, в промышленных печах – разогретые стены, в аппаратах плазменной резки – лазерный луч; а также обрабатываемый металл.

Поражение электрическим током происходит при прикосновении с токоведущими частями электропроводки и сварочной аппаратуры, применяемой для дуговой, контактной и лучевой видов сварки. Токи, проходящие через тело

человека, величиной более 0,05 А (при частоте 50 Гц) могут вызывать тяжелые последствия и даже смерть.

Электробезопасность обеспечивается:

- выполнением требований к электробезопасности электросварочного оборудования, надежной изоляцией, применением защитных ограждений, автоблокировки, заземлением электрооборудования и его элементов, ограничением напряжения холостого хода источников питания;
- индивидуальными средствами защиты (работа в сухой и прочной спецодежде и рукавицах, в ботинках без металлических шпилек и гвоздей);
- соблюдением условий работы (прекращение работы при дожде и сильном снегопаде при отсутствии укрытий; пользование резиновым ковриком, резиновым шлемом и галошами при работе внутри сосудов.

Причинами пожара при сварочных работах могут быть искры и капли расплавленного металла и шлака, неосторожное обращение с пламенем горелки при наличии горючих материалов вблизи рабочего места сварщика.

Основные требования пожарной безопасности изложены в ППБО 07-91 «Правила пожарной безопасности для учреждений здравоохранения». Места, где выполняется сварка, должны быть оснащены огнетушителями, ящиками с песком, лопатами и совками, бочками или ведрами с водой. Деревянные конструкции, расположенные ближе 5 м от сварочных постов, оштукатуривают или обивают листовым асбестом или листовой сталью по войлоку, смоченному в глинистом растворе.

В зоне попадания брызг металла и искр не должно быть воспламеняющихся предметов. Легковоспламеняющиеся и взрывоопасные материалы должны быть на расстоянии не менее 30 м от места сварки. Деревянные полы, настилы, помосты при необходимости защищают от искр и капель расплавленного металла и шлака листами асбеста или железа. Сварщики обеспечиваются спецодеждой, обувью, рукавицами и головным убором.

Сварочные работы производят не только в воздушной, но и в средах других газовых смесей. Для этой цели используют газы, запасенные в баллонах высокого давления.

В лабораторном корпусе ЮТИ ТПУ используются в основном углеводород и аргон. Транспортировка и хранение баллонов с газами должна производиться в соответствии с ГОСТ 26460-85 «Продукты разделения 87 воздуха. Газы. Криопродукты. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение».

4.4 Охрана окружающей среды

В ходе работы лабораторного корпуса производится загрязнение атмосферного воздуха пылью, содержащей частицы металлов. Выброс данного загрязняющего вещества производится через систему вентиляции. Однако эти загрязнения не превышают ПДВ.

В процессе работы основными отходами производства являются:

- шлак сварочный;
- остатки и огарки стальных сварочных электродов;
- флюсы;
- остатки стальной проволоки.

Данные отходы относятся к IV классу и являются не токсичными. В процессе их накопления данный вид отходов складировать в специальном контейнере, после чего вывозят на полигон ТБО.

4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

При любой аварийной ситуации необходимо:

- немедленно оповестить всех работников лабораторного корпуса;

- сообщить о пожаре в пожарную часть по телефону 01 и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- с учётом сложившейся обстановки необходимо определить наиболее безопасные эвакуационные пути и выходы, обеспечивающие возможность эвакуации людей из помещения в кратчайший срок;
- в случае угрозы для жизни людей принять немедленные меры, предотвратить панику, при необходимости, вызвать скорую помощь.

4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочие места сварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами или экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты. Стены и оборудование цехов (участков) электросварки необходимо окрашивать в серый, желтый или голубой тона с диффузным (рассеянным) отражением света. Расстояние между оборудованием, от оборудования до стен и колонн помещения, а также ширина проходов и проездов, должны соответствовать действующим строительным нормам технологического проектирования заготовительных цехов и ГОСТ 123.002-75. Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м. Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям.

Производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, соответствующей строительным нормам и правилам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Освещение при выполнении сварки внутри замкнутых и

труднодоступных пространств (котлов, отсеков, цистерн) должно осуществляться наружным освещением светильниками направленного действия или местным освещением ручными переносными светильниками с напряжением не более 12 В. При этом освещенность рабочей зоны должна быть не менее 30 лк.

Рабочие места сварщиков в здании лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ полностью соответствуют предъявленным требованиям и в изменениях не нуждаются. Также необходимо рассчитать показатель освещенности помещения и сравнить с нормируемым.

В лабораторном корпусе согласно СНиП 23- 05-95 норма освещения составляет не менее 200 лк. Разряд зрительной напряженности – VII (по ВСН 196-83).

Расчет общего равномерного освещения начинается с выбора источника освещения. Источниками освещения являются лампы накаливания, люминесцентные и ртутные лампы. Для освещения рабочего пространства лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ можно использовать лампы накаливания. В качестве осветительного прибора выбираем промышленный уплотненный светильник (ПУ), который соответствует параметрам нашего помещения и подходит для предполагаемой мощности ламп.

По таблице 11 источника 38 находим величину освещенности помещения ($E = 200$ лк). По таблице 3 источника 38 находим коэффициент запаса, который зависит от запыленности светильников ($K_3 = 1,7$).

После получения необходимых данных вычисляется расстояние между светильниками и их расположение у стен. В нашем случае возможно размещение светильников по квадрату, что обеспечит наибольшую равномерность освещения. Существует наивыгоднейшее соотношение расстояний между светильниками и высотой их подвеса. Данное соотношение вычисляется по формуле:

$$L = h \times \lambda, \quad (25)$$

где L – расстояние между лампами;

h – высота подвеса лампы над рабочей поверхностью.

Для определения высоты подвеса светильника необходимо определить наименьшую высоту подвеса над полом (таблица П.1.6 источника 39, $h_2=3$ м) и высоту рабочей поверхности ($h_1=0,8$ м). Находим значение λ по таблице П.1.9 источника 39 ($\lambda = 1,8$). Высота подвеса светильника находится по формуле:

$$h = h_2 - h_1, \text{ м} \quad (26)$$

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Согласно формуле 4.2 получаем расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \times h, \text{ м} \quad (27)$$

$$L = 1,8 \times 2,2 = 4 \text{ м.}$$

Расстояние от стен до крайних светильников принимается в три раза меньше расстояния между светильниками и составляет 1,3 м. Схематическое расположение светильников показано на рисунке 3.

Исходя из размеров помещения, размеров светильников и расстояния между ними определяем, что число светильников в ряду – 8, число рядов – 5. Необходимое количество светильников составляет 40.

Для определения величины светового потока необходимо определить коэффициент использования светового потока. Он зависит от индекса помещения и коэффициентов отражения. Индекс помещения находится по формуле 4.4:

$$i = \frac{S}{h \times (A + B)}, \quad (28)$$

где A и B – ширина и длина помещения, м;

S – площадь помещения, м^2 ;

h – высота подъема лампы над рабочей поверхностью, м.

$$i = \frac{540}{2,2 \times (18 + 30)} = 5,11,$$

Коэффициенты отражения стен и потолка определяются приблизительно из таблицы П.1.15 источника 36 ($p_c = 30 \%$, $p_n = 50 \%$). По таблице П.1.12

источника 36 определяем коэффициент использования светового потока ($\eta = 54 \%$).

Для расчета общего равномерного искусственного освещения (29) использовался метод светового потока. Световой поток Φ лампы, обеспечивающий требуемую освещенность, определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \times K \times S \times Z}{n \times \eta},$$

где E – минимальная освещенность, лк;

S – площадь помещения, m^2 ;

K – коэффициент запаса;

n – число ламп в помещении;

Z – коэффициент неравномерности освещения, зависящий от типа ламп;

$$\Phi = \frac{200 \times 1,7 \times 540 \times 1,15}{40 \times 0,54} = 9775 \text{ лм.}$$

Из таблицы П.1.1 источника 36 определяем тип лампы. Это будет лампа накаливания мощностью 700 Вт и напряжение 220 В. Таким образом, система общего освещения учебно-лабораторного корпуса должна состоять из 40 светильников типа ПУ с лампами накаливания мощностью 700 Вт, построенных в 5 рядов по 8 светильников.

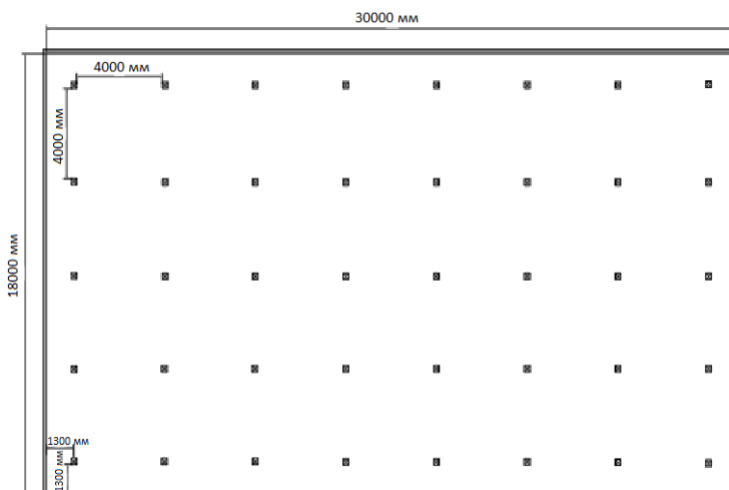


Рисунок 23 – Схема размещения светильников в лабораторном корпусе ЮТИ ТПУ

4.7 Заключение

В ходе выполнения данного исследования было выявлено, что влияние вредных и опасных факторов на производственный персонал и проживающих вблизи объекта исследования людей находятся в пределах нормы. На момент исследования не в полной мере устранено вредное воздействие сварочной пыли, что может повлечь за собой развитие заболеваний дыхательных путей. Необходимо:

- обеспечить выведение загрязненного воздуха и поступление свежего воздуха в достаточном объёме, установленном СНиП 41-01-2003;
- обеспечить рабочих СИЗ от сварочной пыли (ГОСТ Р ИСО 11611- 2011);
- рассмотреть возможность перехода на технологический процесс, способствующий уменьшению образования сварочной пыли.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной работе произведем экономическую оценку затрат на покрытие конструкций (балки, распор) огнезащитной краской «НЕОФЛЭЙМ®513» и огнезащитным составом ComposiTherm STEEL (CT-S) металлических конструкций (колонны) здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

5.1 Затраты на покрытие конструкций огнезащитной краской НЕОФЛЭЙМ 513

5.1.1 Расчет экономических затрат на приобретение продукции

Общая сумма, требуемая на приобретение огнезащитной краски зависит от предела огнестойкости и расхода краски.

Предел огнестойкости конструкций при нанесении и расход указан в таблице 22.

Таблица 22 – Зависимость расхода материала от предела огнестойкости конструкций

Предел огнестойкости	ПТМ, мм	Расход, кг/м ²	Толщина сухого слоя
R 45	2,4	1,91	1,06
	3,4	1,41	0,78
	4,2	1,18	0,65
R 60	3,4	2,02	1,12
	5,8	1,35	0,75
	7,2	1,11	0,64
R 90	5,8	2,59	1,44
	7,2	2,28	1,27

Необходимый предел огнестойкости конструкций составляет 90 минут. Поверхность конструкций, подлежащих обработке огнезащитной краской составляет 50 м².

Расход необходимой краски для обработки конструктивных частей каркаса рассчитывается по формуле:

$$P_k = P_{кг} \times P_m, \quad (30)$$

где $P_{кг}$ – расход краски на 1 м², кг/м²;

P_m – поверхность покрываемых конструкций.

$$P_k = 2,59 \times 50 = 130 \text{ кг.}$$

Стоимость 1 кг огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ 513 на момент 10 мая 2018 года составляет 270 руб.

Стоимость необходимого количества огнезащитной краски рассчитывается по формуле:

$$C_k = C_{кг} \times K_{кг}, \quad (31)$$

где $C_{кг}$ – стоимость за 1 кг огнезащитной краски;

$K_{кг}$ – необходимое количество огнезащитной краски.

$$C_k = 270 \times 130 = 35100 \text{ руб.}$$

5.1.2 Расчет экономических затрат на выполнение работ

ООО «Спецстрой-Огнезащита» г. Кемерово, предоставляет спектр услуг для огнезащитной обработки металлических поверхностей.

Общая стоимость затрат на выполнение работ рассчитывается по формуле:

$$Z_o = Z_{п} + Z_{р} + Z_{с}, \quad (32)$$

где $Z_{п}$ – затраты на подготовку поверхностей к огнезащитной обработке;

$Z_{р}$ – затраты на распыление огнезащитной краски;

$Z_{с}$ – затраты на покрытие покрывного состава.

Затраты на подготовку поверхностей к огнезащитной обработке рассчитываются по формуле:

$$Z_{п} = C_p + K_m, \quad (33)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м²;

K_m – необходимая площадь покрытия, м².

$$З_{\pi} = 200 \times 50 = 10000 \text{ руб.}$$

Затраты на распыление огнезащитной краски рассчитываются по формуле:

$$З_p = C_p + K_m, \quad (34)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м²;

K_m – необходимая площадь покрытия, м².

$$З_{\pi} = 1200 \times 50 = 60000 \text{ руб.}$$

Затраты на покрытие поверхностей покрывным составом рассчитываются по формуле:

$$З_c = C_p + K_m, \quad (35)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м²;

K_m – необходимая площадь покрытия, м².

$$З_{\pi} = 1150 \times 50 = 57500 \text{ руб.}$$

Общая стоимость затрат на выполнение работ составляет:

$$З_o = 10000 + 60000 + 57500 = 127\,500 \text{ рублей.}$$

Затраты на приобретение и выполнение работ по огнезащитной краски НЕОФЛЭЙМ 513 составляют 1625600 руб.

5.2 Затраты на покрытие конструкций огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S)

5.2.1 Расчет экономических затрат на приобретение продукции

В стоимость продукции входят:

- огнезащитная мастика;
- бальзатовый фольгированный мат.

Общая сумма, требуемая на приобретение огнезащитного состава зависит от

предела огнестойкости и расхода. Согласно сведениям компании Для обработки 1 м² стальных конструкций понадобится около 2,25 кг огнеупорной мастики, базальтовый фольгированный мат площадью 1 м², вес которого составляет не более 700 г.

Общая сумма на приобретение огнезащитного состава рассчитывается по формуле:

$$Z_o = Z_m + Z_{фм}, \quad (36)$$

Необходимое количество мастики для огнезащитной обработки огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S) рассчитывается по формуле:

$$P_m = K_m + K_{м}, \quad (37)$$

где K_m – количество огнезащитной мастики на 1 м²;

$K_{м}$ – необходимая площадь покрытия, м².

$$Z_m = 2,25 \times 50 = 113 \text{ кг.}$$

Необходимое количество базальтового фольгированного мата огнезащитной обработки огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S) рассчитывается по формуле:

$$P_{фм} = K_{фм} + K_{м}, \quad (38)$$

где C_m – количество фольгированного мата на 1 м²;

$K_{м}$ – необходимая площадь покрытия, м².

$$Z_m = 1 \times 50 = 50 \text{ шт.}$$

Затраты связанные с приобретением огнезащитной мастики составляют:

$$Z_m = C_m + P_m, \quad (39)$$

где C_m – стоимость за 1 кг мастики (на момент 15 мая 2018 года стоимость составляла 270 руб/кг.);

P_m – количество мастики требуемой для покрытия поверхностей конструкций.

$$Z_m = 270 \times 113 = 30510 \text{ руб.}$$

Затраты связанные с приобретением фольгированных матов составляет:

$$З_{фм} = C_{фм} + P_{фм}, \quad (40)$$

где C_m – стоимость за 1 м² фольгированного мата (на момент 15 мая 2018 года стоимость составляла 300 руб./кг.);

P_m – количество фольгированного мата в метрах требуемого для покрытия поверхностей конструкций.

$$З_m = 300 \times 113 = 33900 \text{ руб.}$$

$$З_o = 30510 + 33900 = 64410 \text{ руб.}$$

5.2.2 Расчет экономических затрат на выполнение работ

ООО «Спецстрой-Огнезащита» г. Кемерово, предоставляет спектр услуг для огнезащитной обработки металлических поверхностей.

Общая стоимость затрат на выполнение работ рассчитывается по формуле:

$$З_o = З_{п} + З_p + З_c, \quad (41)$$

где $З_{п}$ – затраты на подготовку поверхностей к огнезащитной обработке;

$З_p$ – затраты на покрытие поверхностей огнезащитной мастикой;

$З_c$ – затраты на покрытие поверхностей фольгированным матом.

Затраты на подготовку поверхностей к огнезащитной обработке рассчитываются по формуле:

$$З_{п} = C_p + K_m, \quad (42)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м²;

K_m – необходимая площадь покрытия, м².

$$З_{п} = 200 \times 50 = 10000 \text{ руб.}$$

Затраты на покрытие поверхностей огнезащитной мастикой рассчитываются по формуле:

$$З_p = C_p + K_m, \quad (43)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м²;

K_m – необходимая площадь покрытия, м².

$$З_{\pi} = 1500 \times 50 = 75000 \text{ руб.}$$

Затраты на покрытие поверхностей фольгированным матом рассчитываются по формуле:

$$З_c = C_p + K_m, \quad (44)$$

где C_p – стоимость за выполнение работ 1 м^2 ;

K_m – необходимая площадь покрытия, м^2 .

$$З_{\pi} = 1250 \times 50 = 62500 \text{ руб.}$$

Общая стоимость затрат на выполнение работ составляет:

$$З_o = 10000 + 75000 + 62500 = 147500 \text{ рублей.}$$

Затраты на приобретение и выполнение работ по огнезащитной обработке составом CompositTherm STEEL (CT-S) составляют 211910 руб.

Вывод:

Огнезащита металлических конструкций является самым эффективным методом повышения пожарной безопасности всего здания. В работе были использованы 2 варианта огнезащиты:

- огнезащитная краска НЕОФЛЭЙМ 513 – для колонны;
- огнезащитный состав CompositTherm STEEL (CT-S) – для балок и раскоса.

В результате расчета было выявлено, что стоимость огнезащитной обработки металлических конструкций краской НЕОФЛЭЙМ 513 составляет 1625600 руб. Огнезащитная обработка конструкций огнезащитным составом CompositTherm STEEL (CT-S) составляет 211910 руб. Общая стоимость обработки огнезащитными материалами металлического каркаса здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ составляет 1837510 рублей.

Заключение

В настоящей работе были проанализированы статистические данные по пожарам в РФ. Рассмотрены пределы огнестойкости металлических конструкций,

Выявлены теоретические и практические способы огнезащиты металлических конструкций лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ. Рассмотренные условия работы в лабораторном корпусе по состоянию микроклимата соответствуют нормативам, в качестве рекомендации, обоснованной расчетом, предложена схема искусственного освещения.

Реализация данного проекта приведёт к перечисленным факторам: повышение уровня пожарной безопасности здания лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

Список используемых источников

1. К проблеме анализа и управления пожарной безопасностью производственного объекта / В. А. Акатьев, В. С. Мануйлова, Р. Н. Прилуцкий // Техногенная безопасность и охрана труда. – 2009 – №5. – С. 75–8.

2. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ (ред. от 18.07.2011) // Российская газета. – 2011. – № 59.

3. Бабаев В.К. Функции современного Российского государства: учеб. пособие. / В.К.Бабаев, С.В.Бабаев – Н. Новгород.: Нижегородская правовая академия, 2011. – 100 с.

4. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в российской федерации / О.Е.Работкина, С.Н.Хаустов // Гуманитарные аспекты проблем пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций: материалы конференции ФГБОУ ВО «Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России» – Воронеж, 2013. – С 40–41.

5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (ред. от 03.07. 2016) [Электронный ресурс] / СПС Гарант: Законодательство; Версия Проф. – URL: <http://base.garant.ru/12161584/> Дата обращения: 10.05.2018.

6. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2015 году // Государственный доклад / – М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 351 с

7. Принятие управленческого решения при тушении пожара / А.Н. Денисов, С.Н. Захаревская // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – 3 (55). – С. 5–1.

8. Обеспечение безопасности личного состава при тушении пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. / М.В. Серегин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 1. № 1 (6). – С. 19–25.

9. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 45 с.

10. ГОСТ 12.3.046-91 Система стандартов безопасности труда. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 36 с.
11. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 23 с.
12. Воронцов, В.М. Металлические материалы в архитектуре: учебное пособие /В.М. Воронцов, В.И. Мосьпан. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009.– 56 с.
13. Расчет огнестойкости строительных конструкций: учеб. для вузов / А.И. Яковлев – М.: Строиздат, 1988. – 261 с.
14. Методика расчета пределов огнестойкости металлических конструкций. / А.И. Яковлев // Огнестойкость строительных конструкций. – Сб. тр., вып 8. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1980, с. 15 - 27.
15. Рекомендации по применению огнезащитных материалов и составов для металлических конструкций: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко – М: 1988 – 60 с.
16. НПБ 105-95 (105-03) Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности – М.:Типография ВНИИПО МВД России, 2003. – 98 с.
17. НПБ 23697 Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности. – М.:Типография ВНИИПО МВД России, 1997. – 105 с.
18. НПБ 110-99 Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией – М.:Типография ВНИИПО МВД России, 1999. – 120 с.
19. СНиП 2.01.02-85* Противопожарные нормы. – Госстрой СССР, М.: 1991. – 94 с.
20. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Госстрой России, М.: ГУП ЦПП, 1999. – 37 с.
21. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учеб. для

слушателей и курсантов пожарно-технических образовательных учреждений МЧС России / В.Н. Демёхин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, Б.Б. Серков, А.Ю. Фролов, Е.Т. Шурин; под ред. И.Л. Мосалкова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.

22. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве / М.Я. Ройтман 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат 1985. – 591 с.

23. Правила пожарной безопасности при производстве строительномонтажных работ: ППБ-05-86: Утв. 26 февраля 1986 г. / М-во внутренних дел СССР. Гл. упр. пожарной охраны. – М.: Стройиздат, 1988. – 99 с.

24. ППБ 01-93* Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Типография ВНИИПО МВД России № 1998. – 44 с.

25. СНиП 2.01.02-89* Жилые здания. – Госстрой СССР (России), М: 2000. – 78 с.

26. СНиП 31-03-2001 Производственные здания. – Госстрой России, М.: ГУП ЦПП, 1999. – 56 с.

27. Демехин В.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: / В.Н. Демехин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, Б.Б. Серков, А.Ю. Фролов, – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.

28. Огнезащита строительных конструкций: учеб. для вузов / И.Г. Романенков, Ф.А. Левитес – М.: Стройиздат 1981 – 321 с.

29. Пожарная профилактика в строительном деле: учеб. для слушателей ВИПТШ МВД СССР. / М.Я. Ройтман – М.: РИО ВИПТШ, 1975. – 526 с.

30. Пожарная профилактика в строительстве: учеб. для вузов МВД СССР / под ред. В.Ф. Кудаленкина. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 454 с.

31. Ершов А. В. Правовые аспекты оценки качества работ в области огнезащиты при осуществлении государственного пожарного надзора: автореферат дис. кандидата юридических наук : – Санкт-Петербург, 2009. – 22 с.

32. Здания сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник. Часть 1.

Строительные материалы, их пожарная опасность и поведение в условиях пожара / Под общей редакцией Г.Н.Кирилова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2007. – 176с.

33. Ямщикова С. А. Повышение огнезащитной способности вспучивающихся покрытий для объектов нефтегазовой отрасли : диссертация кандидата технических наук : 05.26.03, 05.02.01 – Уфа, 2009. – 170 с.

34. ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. – М: Стандартиформ, 2007. –55 с.

35. Леонович А.А. Огнезащита древесных плит и слоистых пластиков: / А.А. Леонович, Г. Б. Шалун – М., 1974. – 287 с.

36. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности – М: Стандартиформ, 2009. – 34 с.

37. Асеева М. Горение полимерных материалов / М. Асеева, Г. Е. Занков – М., 1981. –115 с.

38. Загоруйко М.В. Разработка методов придания огнезащитных свойств и исследования термического воздействия на структуру и свойства материалов и пакетов одежды: диссертация кандидата технических наук : – Москва, 2011. – 209 с.

39. ГОСТ 12.1.044-89 ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. Номенклатура показателей и методы их определения– М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 44 с.

40. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.

41. EN 1993-1-1:2005, IDT. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций.

42. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012 Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие положения. Расчет

конструкций на огнестойкость.

43. ДСТУ Б В.1.1-14:2007 Защита от пожара. Колонны. Методы испытания на огнестойкость.

44. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Методы определения огнезащитной способности.

45. ДСТУ EN 10210-1:2009 Профили полые, изготовленные горячим деформированием из нелегированных и мелкозернистых конструкционных сталей. Технические требования к поставке.

46. ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. – М: Стандартинформ, 2007. – 105 с.

47. ГОСТ Р 50779.21-96. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. – М: Стандартинформ, 2007. – 77 с.

48. СанПин 2.2.4.548.96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М: Стандартинформ, 2007. – 41 с.

49. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – М: Стандартинформ, 2007. – 102 с.

50. Гришагин В.М. Расчеты по обеспечению комфорта и безопасности: учебное пособие. В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 155 с.